

MARIANO PEREIRA SILVA

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO PARA PRODUÇÃO AVÍCOLA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586z
2006

Silva, Mariano Pereira, 1965-
Zoneamento bioclimático para produção avícola no
território brasileiro / Mariano Pereira Silva. – Viçosa :
UFV, 2006.
ix, 161f. : il. Mapas col. ; 29cm.

Orientador: Fernando da Costa Baêta.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 154-161.

1. Frango de corte - Instalações - Aquecimento e
ventilação - Modelos matemáticos. 2. Frango de corte -
Aspectos climáticos. 3. Meteorologia agrícola. 4. Com-
putação - Matemática. 5. Modelos matemáticos.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 636.50831

MARIANO PEREIRA SILVA

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO PARA PRODUÇÃO AVÍCOLA NO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de “Doctor Scientiae”.

APROVADA: 16 de fevereiro de 2006.

Prof. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Conselheiro)

Prof. Tadayuki Yanagi Junior

Prof. Luiz Fernando Teixeira Albino

Prof. Cecília de Fátima Souza

Prof. Fernando da Costa Baêta
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Sem sombra de dúvida meus maiores agradecimentos devem ir para meus professores de ciências do primeiro grau. É claro que tenho que agradecer também à UFV e aos seus professores e de outras instituições nas quais estudei, em especial aos que compuseram a comissão orientadora: Baêta, Ilda, Jadir, Zolnier e Aristides; ao CNPq, aos funcionários da UFV, especialmente as secretárias da pós graduação Edna e Tatiana e as secretárias da reitoria Rita, Marcela e Natália, ao secretário da pró-reitoria de administração José; à SOMAR Meteorologia na pessoa de seus diretores Márcio, Marcos e Paulo; ao Professor Vascos Fitas e aos seu alunos, especialmente à Joana e ao Felipe; à Universidade de Évora, seu professores, funcionários e estudantes; aos colegas de curso; aos companheiros de república; ao Tadayuke, ao Albino e à Cecília por aceitarem participar da minha banca; aos meus irmãos Maria Hedwiges e Fernando; aos meus tios, avós, primos; aos meus padrinhos e certamente a uma quantidade inumerável de pessoas com as quais cruzamos pela vida e que ajudam de uma forma ou de outra a progredirmos, mesmo que seja com pequena coisas como o sujeito que passava na rua e me informou onde era Universidade. Mas os meus professores de ciências do primeiro grau tem um lugar de destaque. Eles mais do que me ensinar os caminhos do conhecimento científico, também me ensinaram o caminho da dignidade e do caráter. Mais que me ajudar na realização dos meus primeiros experimentos, seguraram minha mão nos meus primeiros passos. Aos meus pais Valcy e Hedwiges, que me deram a felicidade de serem meus professores de ciências, a maior gratidão do seu filho, de todo o coração.

CONTEÚDO

RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. ESTRESSE DOS FRANGOS DE CORTE POR FATORES TÉRMICOS AMBIENTAIS.....	5
2.1.1. <i>Influência da temperatura ambiente.....</i>	8
2.1.2. <i>Influência da umidade ambiente.....</i>	9
2.1.3. <i>Influência da velocidade do ar.....</i>	10
2.1.4. <i>Influência da radiação.....</i>	12
2.1.5. <i>Produção de calor e umidade por frangos de corte.....</i>	13
2.2. ÍNDICES TÉRMICOS AMBIENTAIS PARA ANIMAIS BASEADOS EM TEMPERATURA E UMIDADE DO AR.....	17
2.3. ÍNDICES TÉCNICOS DO DESEMPENHO DE CRIAÇÕES DE FRANGO DE CORTE.....	20
2.4. SISTEMAS DE VENTILAÇÃO E RESFRIAMENTO EVAPORATIVO.....	26
2.4.1. <i>Sistema de ventilação positiva em modo túnel.....</i>	26
2.4.2. <i>Sistema de ventilação negativa.....</i>	27
2.4.3. <i>Sistema de ventilação positiva lateral.....</i>	27
2.4.4. <i>Medidas de eficiência</i>	28
2.5. BALANÇO DE CALOR E UMIDADE NUM GALPÃO AVÍCOLA.....	29
2.6. MUDANÇA DE ESCALA.....	31

3. MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1. GERAÇÃO DA BASE DE DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	36
3.2. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE MODELAGEM DO AMBIENTE INTERNO DE GALPÕES AVÍCOLAS.....	37
3.3. GERAÇÃO DE MAPAS DE ITU.....	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1. RESULTADOS A PARTIR DO DADOS DE RE-ANÁLISES 2	43
4.1.1. Externos – cálculo de ITU.....	43
4.1.2. Internos - simulação de galpão.....	47
4.1.3. IAPfc dentro de uma instalação com resfriamento.....	51
4.2. ATLAS BIOCLIMATOLÓGICO DO BRASIL - COM ÊNFASE EM AVICULTURA.....	54
4.2.1. Introdução.....	54
4.2.2. Temperatura.....	56
4.2.2.1 Temperatura média (C°).....	58
4.2.2.2 Temperatura Mínima(C°)(valores que em média ocorrem no mês).....	64
4.2.2.3 Temperatura máxima(C°) (valores que em média ocorrem no mês).....	70
4.2.2.4 Amplitude Térmica média (C°).....	76
4.2.3. Umidade Relativa Média (%).....	82
4.2.4. Velocidade média do Vento a 10 metros (m/s).....	88
4.2.5. Média Diária de Chuva (mm).....	94
4.2.6. ITU – Índice de Temperatura e Umidade.....	100
4.2.6.1. ITU - média do mês.....	101
4.2.6.1. ITU - média entre as 09 horas e 15 horas.....	107
4.2.7. Dados de Simulação.....	113
4.2.7.1. Número de horas vezes o número de graus C a menos no interior de uma instalação com sistema de resfriamento em comparação com outra sem sistema de resfriamento. (C° x Horas)	115
4.2.7.2. ITU - média entre as 09 horas e 15 horas dentro de uma instalação com resfriamento.....	122
4.2.7.3 IAPfc dentro de uma instalação com resfriamento.....	129
4.3. COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS DE REDUÇÃO DE ESCALA APLICADA A RE-ANÁLISES PARA USO EM BIOCLIMATOLOGIA.....	137
4.4. COMPARAÇÃO DOS DADOS COM REDUÇÃO DE ESCALA USANDO DIFERENTES TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO	144
4.5. RESULTADOS A PARTIR DO DADOS DE RE-ANÁLISES 2 COM O DOWNSCALING.....	147

5. CONCLUSÕES.....	152
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154

RESUMO

SILVA, Mariano Pereira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro 2006. **Zoneamento bioclimático para produção avícola no território brasileiro.** Orientador: Fernando da Costa Baêta. Conselheiros: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Jadir Nogueira da Silva, Sérgio Zolnier e Aristides Ribeiro.

Esta pesquisa tem como objetivo geral, desenvolver um zoneamento bioclimático para criação das aves, a partir de dados climáticos diários e simulação do emprego do resfriamento evaporativo em galpões avícolas, como forma de prever as condições de produção animal em todo território brasileiro. Para isso foi gerada uma base de dados climatológicos. Sendo utilizados dados climáticos da Re-análises 2 do NCEP/NCAR do período de 01.01.1980 à 31.12.2000 para o território brasileiro. Para a obtenção de valores horários de temperatura para estudar o efeito e benefício da climatização da instalação pelo resfriamento evaporativo, foi adotada a metodologia que utiliza dados temperatura e temperatura mínima do ar obtidos nos horários de 12:00, 18:00 e 24:00 horas (Tempo Médio de Greenwich). A interpolação espacial foi feita levando em conta a orografia. Foi desenvolvido um programa computacional para simulação dos fluxos de calor e massa em galpões avícolas a partir de dados meteorológicos externos. A partir dos dados climáticos simulados, foram gerados mapas para o território brasileiro com valores de ITU, assim como temperatura e umidade. Os mapas foram gerados para o ambiente interno e externo à instalação.

Particularmente para o ambiente interno, foram considerados instalações com e sem sistema de resfriamento evaporativo. Do estudo realizado pode-se tirar as seguintes inferências conclusivas: a) Quanto mais próximo do equador maior é o valor do ITU. A uma ligeira tendência de a região sudeste e centro oeste divergirem deste padrão. Esta divergência é agravado no período de verão em que a região sudeste tem predominantemente valores de ITU mais amenos que a região centro oeste na mesma latitude; b) A região norte apresenta baixo potencial para criação avícola em alta densidade; c) Os valores de ITU mais amenos no norte de Roraima são devido a elevada altitude da região; d) A respeito dos dados depois do *downscaling* pode-se afirmar que as características gerais dos dados não tiveram grande mudança. A grosso modo, continuam válidas as análises feitas para os dados antes do *downscaling*. Para um estudo macro de aspectos nacionais os dados não apresentam grande impacto. A maior utilidade destes dados será em análises regionais.

ABSTRACT

SILVA, Mariano Pereira, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2006. **Bioclimatic zoning for chicken production in the Brazilian territory** Advisor: Fernando da Costa Baêta. Committee members: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, Jadir Nogueira da Silva, Sérgio Zolnier and Aristides Ribeiro.

This research has as objective generality, to develop a bio-climatic zoning for creation of the chickens, from daily climatic data and simulation of a poultry house with a evaporative cooling, as form to foresee the conditions of animal production in all Brazilian territory. For this a climate database was generated. Being used climatic data of Re-analyses 2 from NCEP/NCAR from the period of 01.01.1980 to 31.12.2000 for Brazilian territory. For the attainment of hourly values temperature to study the effect and benefit of the climatization of the installation for the evaporative cooling, it was adopted the methodology that it uses temperature and minimum temperature of air data at 12:00, 18:00 and 24:00 hours (Greenwich mean time). The space interpolation of climatic data was made with orographic correction. After a computational program for simulation of the heat flows and mass in sheds from external meteorological data was developed. From the simulated climatic data, maps for the Brazilian territory with values of ITU had been generated, as well as temperature and humidity. The maps had been generated for the internal and external environment. Particularly for the internal environment

with and without system of evaporative cooling had been considered. From this study, following conclusive inferences was gotten: a) The more next to the equator biggest it is the value of the ITU. To a fast trend of the Southeastern region and center west diverged of this standard. This divergence is aggravated in the period of summer where the Southeastern region has values of ITU predominantly minor than the region center west in the same latitude; b) the region north presents low potential for chickens creation in high density; c) the minor values of ITU in the north of Roraima must the high altitude of the region; d) Regarding the data after downscaling it can be affirmed that the general characteristics of the data had not had great change. The analysis made for the data before downscaling continue valid. For a study macro of national aspects the data do not present great impact. The biggest utility of these data will be in regional analysis.

1. INTRODUÇÃO

A carne de frango se tornou um produto de importância capital na economia brasileira. A exportação atingiu um total 2.424 mil toneladas destinadas à exportação, gerando um total de 2.493 milhões de dólares em divisas em 2004. No momento o Brasil disputa a liderança do mercado internacional de carne de frango com os EUA, sendo estimado que sua participação este ano será de 30,9% do total de exportações. Internamente se tornou a carne mais consumida no Brasil com 35,1 kg por habitante em 2003 e um consumo total de 6.246 mil toneladas (AVES e OVOS, 2005).

Apesar do enorme crescimento das fronteiras mercadológicas e do progresso científico, contrapõe-se a pouca atenção que se deu, até meados da década de 90, às técnicas de alojamento e, efetivamente, ao ambiente de criação das aves. Entretanto, com a perspectiva do processo de globalização que movimentava a economia mundial, a indústria avícola brasileira passou a buscar nas instalações e no ambiente, as possibilidades de melhoria do desempenho avícola, da redução da mortalidade e dos custos de produção como forma de manter a competitividade. Assim, a produção de aves de corte e de postura em alta

densidade de alojamento passou a ser amplamente usada e, desta forma, a exigência de conforto térmico ambiental, que já havia se tornado maiores com o aumento da precocidade das aves, passou a ser ainda maior, como resultado da elevação do número de aves por área habitada. Como conseqüência, a atenção ao adequado planejamento e projeto das instalações avícolas passou a ser priorizada (TINÔCO, 2001a).

Neste contexto, o conhecimento das necessidades ambientais dos animais e o estudo das condições climáticas da região e do microclima do local em que será implantado o sistema de produção podem contribuir na definição de técnicas e nos dispositivos de construções eficientes e que possibilitem a melhoria do conforto térmico dos animais e, conseqüentemente, de sua produtividade nas diferentes regiões climáticas do vasto território brasileiro.

Conforme McDOWELL (1974), dentre os elementos climáticos, a temperatura do ar é provavelmente aquele que influencia mais diretamente o ambiente físico do animal. No entanto, a temperatura do ar não é suficiente para caracterizar as condições ambientais; para isso, deve-se acrescentar também a essa, outras variáveis, tais como umidade relativa, velocidade do ar e energia radiante (PERDOMO, 1998).

Com base estudos realizados por GATES et al. (1995), SILVA JÚNIOR (2001) e SILVA(2003) pode-se verificar que os avanços nos sistemas de informações geográficas (SIG) e a maior disponibilidade de dados meteorológicos, embora no caso destes últimos ainda com sérias deficiências para o Brasil, permitem a avaliação de sistemas de acondicionamento artificial de ambiente em função das condições climáticas de cada região. Os trabalhos de GATES et al. (1995) e SILVA (2003) simularam o comportamento térmico de galpões avícolas, a partir de dados meteorológicos, com e sem sistemas de resfriamento evaporativos fornecendo dados como o índice de temperatura e de

umidade para os Estados Unidos da América e para a Região Sudeste do Brasil, respectivamente.

Tendo em vista o exposto, esta pesquisa tem como objetivo geral, desenvolver o zoneamento bioclimático para criação das aves, a partir de dados climáticos diários e simulação do emprego do resfriamento evaporativo em galpões avícolas, como forma de prever as condições de produção animal em todo território brasileiro.

Objetivos específicos:

1. Gerar uma base de dados climatológicos, horários com resolução de 20' (cerca de 40 km) a partir da interpolação de dados existentes;
2. Implementar um programa computacional para simulação dos fluxos de calor e massa em galpões avícolas a partir de dados meteorológicos externos; e
3. Realizar um zoneamento bioclimático com a elaboração de mapas de ITU (Índice de Temperatura e Umidade) para o território brasileiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A criação racional de frangos está alicerçada nos seguintes pontos-chave: genética, nutrição, sanidade e manejo, destacando-se, neste último, as instalações e os equipamentos. A razão principal para se melhorar as condições de ambiente nas instalações é assegurar que as aves alcancem seu potencial produtivo (PIASENTIN, 1984).

Até alguns anos atrás era comum criações com densidades médias de 10 aves m^{-2} de galpão, sendo que a meta de hoje é atingir patamares de 16 à 18 aves m^{-2} de alojamento, no caso de instalações equipadas com comedouros e bebedouros convencionais, e 20 à 22 aves m^{-2} para instalações equipadas com sistemas de comedouros e bebedouros automatizados. O cuidado a se tomar quando se aumenta a densidade de alojamento, contudo, é que devido ao maior número de aves alojadas por área de galpão ocorre maior liberação de calor (latente e sensível), o qual precisa ser dissipado para o exterior. Assim, entende-se que, para que a criação de frangos de corte em alta densidade seja viável para as condições climáticas brasileiras, torna-se indispensável aprimorar os sistemas de acondicionamento natural e artificial dos ambientes em função de um minucioso estudo das condições ambientais de cada região, objetivando diminuir o estresse por calor a que são submetidas as aves (FONSECA, 1998).

IMAEDA (2000), investigou a influência do clima e da densidade de alojamento na ocorrência de morte súbita em frangos de corte utilizando densidades de 12, 15 e 18 aves por metro quadrado. Deste estudo o autor concluiu que com 18 aves por metro quadrado houve significativo aumento da mortalidade no verão e no inverno.

Todos os ajustes e as ações sobre o organismo animal podem se refletir na produtividade final de um lote e no seu custo final. As condições ambientais que oferecem os menores desgastes para as aves, por produzirem os melhores resultados, situam-se em faixas ou limites denominados zonas de conforto térmico (CURTIS, 1983).

Com relação aos animais, BAÊTA e SOUZA (1997), afirmaram que esses podem ser considerados sistemas termodinâmicos abertos, por estarem em troca constante de energia com o ambiente. Neste processo, os fatores externos do ambiente tendem a produzir variações internas no animal, influenciando na quantidade de energia trocada entre ambos, havendo, então, necessidade de ajustes fisiológicos para a ocorrência do balanço de calor.

2.1. Estresse dos frangos de corte por fatores térmicos ambientais

O conhecimento das necessidades ambientais dos animais e o estudo das condições climáticas da região e do microclima do local em que será implantado o sistema de produção permitem definir técnicas e dispositivos de construções que melhorem o conforto dos animais. Conforme McDOWELL (1974), a temperatura do ar é provavelmente o fator bioclimático mais importante que influencia o ambiente físico do animal. No entanto, apenas a temperatura do ar não é suficiente para avaliar as condições ambientais; para isso, deve-se acrescentar também a essa outras variáveis, como umidade relativa, velocidade do ar e energia radiante (PERDOMO, 1998). Em geral os parâmetros ambientais

utilizados são temperatura do ar, temperatura radiante, radiação solar, umidade do ar, velocidade do ar, pressão atmosférica.

CURTIS (1983), define o ambiente como a soma do impacto de fatores físicos, químicos, biológicos e sociais, que atuam e interagem influenciando o desempenho animal. Esses fatores variam com a estação do ano e com a localização da região, bem como, por razões intrínsecas ao próprio animal como idade, sexo e alimentação fornecidas. Neste sentido, verifica-se que as variáveis ambientais não são estáticas. Toda situação ambiental que provoca uma resposta adaptativa é considerada estressora, definindo uma situação de estresse no animal (BAÊTA & SOUZA, 1997).

Assim podemos acrescentar aos parâmetros ambientais já citados o nível de poluição do ar e o nível de poluição sonora, tipo de cama, teor de umidade da cama, doenças, densidade de alojamento, comportamento e ordem de dominância, tipo de ração utilizado (que constitui um fator biológico ambiental), temperatura da água nos bebedouros e forma de movimentação dos funcionários dentro do galpão, dentre outros.

Estes diversos fatores ambientais, acima relacionados, devem ser considerados em conjunto com fatores ligados as características dos animais. Segundo (SILVA, 2000) os fatores inerentes ao animal (não ambientais) a serem considerados na determinação do conforto térmico e nas condições de adaptação dos animais a ambientes específicos são os seguintes:

- Capa externa - espessura, estrutura, isolamento térmico, penetração pelo vento (relacionada aos movimentos da atmosfera), ventilação (relacionada aos deslocamentos do indivíduo e da atmosfera), permeabilidade ao vapor, transmissividade, emissividade, absorvidade, refletividade.

- Características corporais - forma corporal, tamanho e movimentos, área de superfície radiante, área exposta à radiação solar direta, emissividade da epiderme, absorvidade da epiderme.
- Respostas fisiológicas - temperatura (epidérmica, retal etc.), taxa de sudação, trocas respiratórias, produção, taxa de crescimento e desenvolvimento, níveis hormonais (T_3 , T_4 , cortisol etc.), metabolismo.

De acordo com CURTIS (1983) e ESMAY e DIXON (1986), quando as condições ambientais no interior da instalação não estão dentro da zona de termoneutralidade, ou seja, o ambiente térmico torna-se desconfortável, o organismo animal se ajusta fisiologicamente para manter sua homeotermia, seja para conservar ou dissipar calor. Esse dispêndio de energia resulta em redução na sua eficiência produtiva.

À temperatura de 24 °C o frango de corte adulto tem sua melhor performance em termos de crescimento e conversão alimentar. Os valores de conforto e desconforto térmico variam com a idade do animal. Um frango de corte com poucos dias tem limite inferior, da zona de temoneutralidade, a 32°C enquanto um frango adulto 18°C (CURTIS,1983).

Para SCHMID (1998), os principais sintomas que descrevem um quadro de estresse por calor são aqueles em que as aves consomem menos ração, bebem mais água, aumentam a frequência respiratória, ficam prostradas, reduzem o ganho de peso, têm o comportamento alterado e ficam mais susceptíveis às doenças. Nessa situação, as aves recorrem a diversos mecanismos para aliviar o estresse por calor, tais como: diferentes posicionamentos de pernas, abertura de asas de forma a expor a região ventral altamente vascularizada, e aumento da taxa de respiração e transpiração.

Assim, entre todos os fatores ambientais, os térmicos, representados por temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação, são os que afetam mais diretamente a ave, comprometendo uma das suas mais importantes funções vitais, que é a manutenção da própria homeotermia, conforme observado por CURTIS (1983), MEDEIROS (1997) e TINÔCO (1988).

2.1.1. Influência da temperatura ambiente

Existem limites para o intervalo de temperaturas para os quais os animais vertebrados podem manter sua homeotermia. A zona de termoneutralidade no intervalo de homeotermia é muito difícil de se definir. Nesse intervalo os vasos sanguíneos na pele não estão totalmente dilatados ou totalmente contraídos, a evaporação de água da superfície da pele ou do sistema respiratório é mínima, os cabelos ou pelos ou penas não estão eretos e as respostas comportamentais ao calor ou frio não ocorrem. O intervalo de temperaturas superior e inferior que os animais podem tolerar fora da faixa da zona de termoneutralidade, sem que ocorra prejuízos de sua eficiência, é muito reduzido (BROWN-BRANDL et al., 1997).

A quantidade de calor contida no corpo provém do metabolismo basal, da atividade muscular, da digestão do alimento e do ambiente térmico. Esse calor tem que ser dissipado via mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente. Esses mecanismos envolvem trocas de calor sensível pela radiação, convecção e condução e também trocas de calor latente que se produz pela evaporação nos pulmões e na pele (TEIXEIRA, 1991).

Quando as temperaturas nos ambientes de criação das aves são baixas, ocorre aumento na proporção de carcaças com calos e crostas no peito devido a má conservação da cama. Em contrapartida, há maior incidência de ferimentos decorrentes do manejo das aves nos meses de

verão, atribuída a ruptura de vasos sangüíneos e capilares periféricos, devido a vasodilatação. Em épocas quentes, as aves reduzem a ingestão de ração e, por conseqüência, a quantidade nutrientes ingerida. Para conseguir aumentar as calorias da mesma e diminuir esse déficit, os formuladores de ração, podem incrementar a proporção de energia. Porém, estas modificações na dieta alimentar podem contribuir com a incidência de problemas de gordura na carcaça (ABREU & ABREU, 2002).

COOPER & WASHBURN (1998), comparando a mortalidade em frangos criados às temperaturas de 21°C e 31°C não verificaram diferença significativa, mas aumento significativo na mortalidade foi verificado por VO et al. (1977) quando a temperatura ambiente subiu para 37,8°C.

Quando frangos são expostos a estresse calórico por mais de uma semana, ocorre forte correlação negativa entre a temperatura do corpo e os aspectos econômicos como ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar (COOPER & WASHBURN, 1998).

2.1.2. Influência da umidade ambiente

A Umidade Relativa do galpão é função da temperatura ambiente, do fluxo de vapor d'água que entra no galpão pelo sistema de ventilação e da quantidade de vapor d'água proveniente dos frangos e da cama. Segundo BAIÃO (1995), o valor de umidade relativa do ar não pode ultrapassar 80%, de forma a não prejudicar a perda de calor das aves por via evaporativa.

O conforto térmico da ave se encontra relacionado com a umidade. Por exemplo, quando a temperatura do ar de 26,7 °C estiver combinada com umidade relativa de 60%, a ave ainda se encontra dentro da zona de termoneutralidade. Entretanto, o animal entra em estado de desconforto térmico se a umidade relativa do ar atingir 80%. (DONALD, 1998).

A perda de calor dos animais homeotérmicos por evaporação se torna progressivamente mais importante a medida que a temperatura aumenta. Se o ambiente é quente e seco, muito calor pode ser dissipado por evaporação, mas se é quente e úmido a quantidade de calor dissipado dessa forma é reduzida. Por exemplo, se o ar for inspirado a 30° C e 30% de umidade relativa e expirado a 40° C e 100% de umidade relativa, gera uma dissipação de calor de 24,1 kcal contra 13,8 kcal se a umidade relativa do ar inspirado fosse de 90% (FREEMAN, 1968).

A umidade relativa do ar é um fator importante na determinação das condições de umidade da cama. Geralmente, a umidade relativa dentro do galpão deve estar entre 50% e 70% para manter o teor de umidade da cama entre 25% à 30% em base úmida (REECE & LOTT, 1982). Segundo BAIÃO (1995), a umidade média da cama deve estar em torno de 20 a 30%. Abaixo de 20%, pode haver problema com poeira. Acima de 30%, pode ocorrer quedas de produção em condições de temperatura elevada.

A alta umidade relativa favorece o aparecimento de camas úmidas, emplastadas e aumento de amônia no ambiente. A cama excessivamente úmida propicia a aparição de uma série de prejuízos às aves. Dentre esses, deve-se assinalar as dermatites ulcerativas, como produtoras de lesões nas aves, que poderão, posteriormente, depreciar suas carcaças. Os frangos passam bastante tempo de suas vidas descansando sobre a cama e se esta não está em boas condições, produzirá dermatites de contato, ocasionadas pela abrasividade, amônia e calor (ABREU & ABREU, 2002).

2.1.3. Influência da velocidade do ar

A ventilação assume papel mais importante na troca de calor realizada pelas aves quando ocorre aumento de temperatura e de

umidade. De acordo com FREEMAN (1968), sob condições sem ventilação, a convecção é responsável por cerca de 10 a 15% do total de calor sensível dissipado pelas aves. Com o aumento da velocidade do ar, entretanto, o aumento da dissipação de calor convectiva pode chegar a 30% da perda total.

BOND et al. (1965), ao estudarem os efeitos de velocidades do ar de 0,18 a 1,52 m s⁻¹ e de temperaturas de 10 a 38,7 °C, verificaram que a dissipação de calor pelos animais aumentou com o aumento da velocidade do ar, em consequência do aumento na dissipação de calor por convecção e evaporação, embora tenha havido redução na dissipação de calor por radiação. O ar em movimento afeta os fluxos convectivos e evaporativos. Assim, um aumento da velocidade do ar reduz a temperatura da superfície da pele e das penas, especialmente em temperatura ambiente mais baixa. Apesar disso, essas reduções em gradientes térmicos são contrabalançadas por um aumento na taxa de produção de calor. Da mesma forma, a taxa de calor perdido aumenta com o aumento da velocidade do ar. Também ocorrerá aumento na taxa de calor sensível (evaporação pela pele).

DRURY & SIEGEL (1966), trabalhando com frangos submetidos a cinco faixas de velocidade do ar, sendo 0,10 - 0,13 m/s; 0,18 - 0,28 m/s; 0,41 - 0,66 m/s; 1,07 - 1,47 m/s; e 2,54 - 2,95 m/s, concluíram que mais alimento e menos água foram consumidos para as maiores velocidades do ar, porém, os ganhos de peso não foram afetados pela velocidade do ar. Tanto o consumo de água quanto às taxas respiratórias foram menores para as maiores velocidades do ar, sugerindo que o resfriamento convectivo substituíra, parcialmente, a evaporação respiratória como forma de dissipação de calor nas maiores velocidades do ar.

De acordo com CZARICK e TYSON (1990), os benefícios associados ao aumento da velocidade do ar reduzem, gradativamente, até em torno de 40°C (próximo à temperatura corporal da ave). Para temperaturas do ar acima de 40°C, o aumento da velocidade do ar,

gradativamente, aumentará o estresse por calor, uma vez que o processo se inverte e o ar passa a ceder calor para as aves.

LOTT et al. (1998), comparando o desempenho de frangos criados em ambientes com ventilações de 0,25 e 2,08 m/s e temperatura média de 28,3°C, verificaram que as aves criadas no ambiente com maior velocidade do ar apresentaram aumento no ganho de peso e melhoria na conversão alimentar, como também não apresentaram ofegação, mesmo nas horas mais quentes do dia.

DRURY & SIEGEL (1966), afirma que existe um limite dos benefícios associados ao movimento do ar. Aumento no ganho de peso foi observado até a velocidade do ar próxima a 3,0 m/s. Quando este valor foi excedido, efeitos prejudiciais foram notados. O trabalho de DRURY & SIEGEL mostrou que 67% do benefício potencial associado ao aumento da velocidade do ar, sobre as aves, é obtido com velocidades do ar de 1,8 m/s.

2.1.4. Influência da radiação

É inquestionável que as trocas térmicas por radiação entre os animais e seu meio ambiente assumem uma importância fundamental em climas tropicais. Em muitos casos, constituem a diferença entre um ambiente tolerável e outro insuportável (SILVA, 2000).

A radiação é um processo em que a superfície de todos os objetos emite calor na forma de ondas eletromagnéticas. A potência da emissão é determinada pela temperatura da superfície que está irradiando calor. No caso das aves, o calor é transferido da pele e superfície das penas para objetos que circundam as aves e vice-versa. Naturalmente, se a temperatura das superfícies do ambiente for superior a de pele e penas das aves, estas ganharão calor (RUTZ, 1994).

Em baixa temperatura, o calor ganho a partir da radiação reduz a quantidade de calor que a ave deve produzir para manter sua temperatura corporal. Conseqüentemente, as aves que apresentam alta absorvidade economizam energia em ambientes frios.

Segundo CURTIS (1983), vários fatores afetam o fluxo líquido de calor radiante entre o animal e o meio ambiente, podendo-se citar:

- Diversidade das características radiantes das superfícies envolvidas, principalmente se esse fluxo está em ambiente aberto ou fechado, se existem outros animais ao seu redor ou grande número de equipamentos.
- Relação da área animal pela área ambiental considerada.
- Forma corporal do animal.
- Orientação do animal em relação às superfícies do ambiente com as quais ele troca calor.
- A presença de superfícies refletoras ou algum tipo de filtro entre o animal e as superfícies consideradas.

2.1.5. Produção de calor e umidade por frangos de corte

A disponibilidade de dados sobre produção de calor e umidade de animais alojados em aviários é de fundamental importância para uso em sistemas de ventilação. A quantidade de calor e umidade produzidos por aves alojadas varia de acordo com a idade, massa corporal, grau de atividade física, nutrição, e temperatura ambiente, dentre outros, sendo que esses índices podem ser medidos por calorimetria direta ou indireta. A calorimetria direta relaciona a medida física do total de calor dissipado em uma instalação fechada com animais, por exemplo frangos de corte dentro de uma câmara climática termicamente isolada, em que se pode

medir a produção de calor. Já a calorimetria indireta examina a troca de gases por respiração e excreção urinária de nitrogênio e calcula usando equações previamente ajustadas (CHEPETE & XIN, 2001).

Estudos relacionados à avaliação da dissipação de calor em ambientes habitados por animais têm sido feitos há vários anos, sendo dividida entre as formas sensível e latente. Entretanto, vários autores como REECE e LOTT (1982), GATES et al. (1996) e XIN et al. (1998), têm colocado a necessidade de se atualizar continuamente os dados para as características da moderna produção avícola devido as significativas mudanças, com o passar dos anos, da genética, nutrição, instalações e manejo (CHEPETE & XIN, 2001).

Nas Figuras 1, 2 e 3 encontram-se relacionados os resultados da pesquisa de XIN et al. (2001) sobre a dissipação de calor total e latente em frangos de corte em função da média de temperatura ambiente. Na Figura 4 estão apresentadas as curvas comparativas dos estudos de REECE & LOTT (1982) e XIN et al. (2001).

Observa-se (Figura 1) que a produção do calor total cai com o aumento da temperatura, mas a produção de calor latente, em porcentagem, aumenta (Figura 2). Para um aumento de umidade a porcentagem de calor latente diminui (Figura 3). Na Figura 4 nota-se uma menor produção de calor no estudo de XIN et al. (2001) em relação REECE & LOTT (1982)

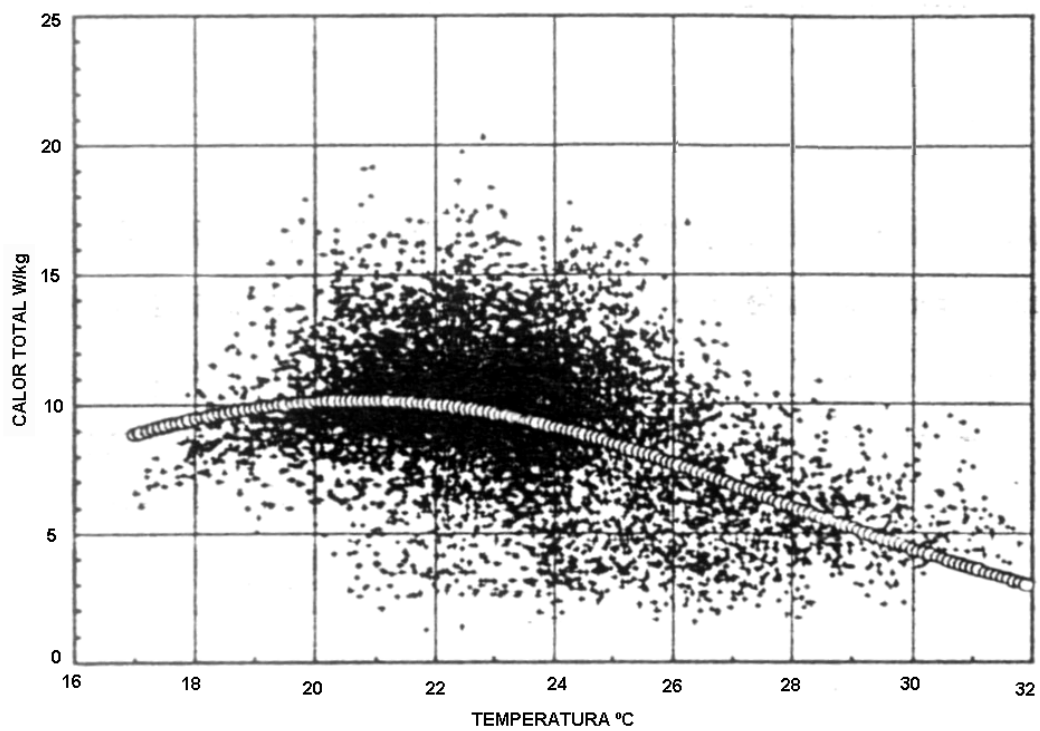


Figura 1 - Produção total de calor para frangos de corte em função temperatura do ar, corrigida para a massa corporal e a iluminação. Adaptado de XIN et al. (2001).

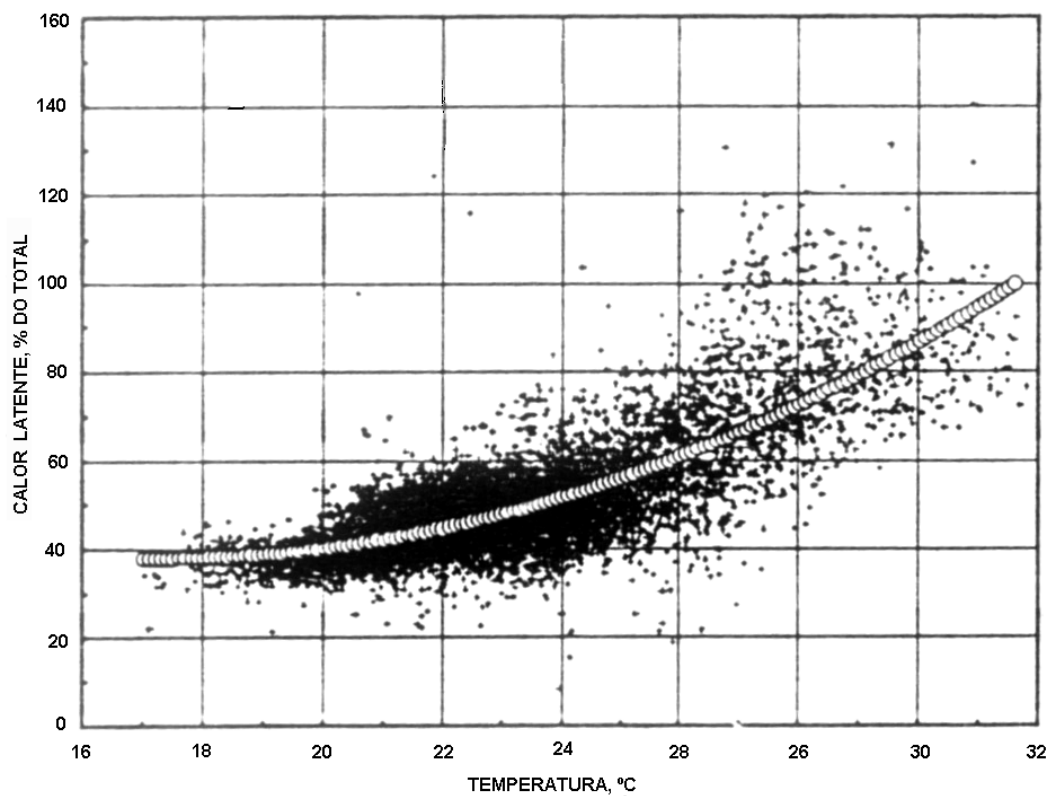


Figura 2 - Produção de calor latente para frangos de corte em porcentagem da produção de calor total em função da temperatura do ar, corrigida para a umidade. Adaptado de XIN et al. (2001).

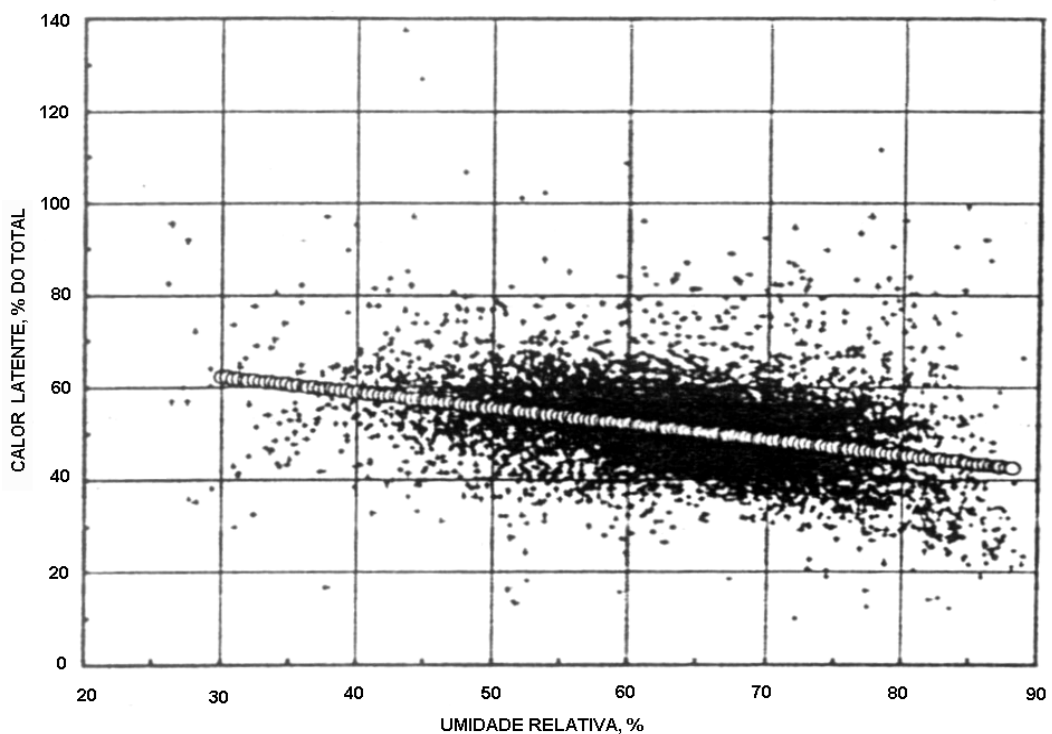


Figura 3 - Produção de calor latente para frangos de corte em porcentagem da produção de calor total em função da umidade, corrigida para a temperatura do ar. Adaptado de XIN et al. (2001).

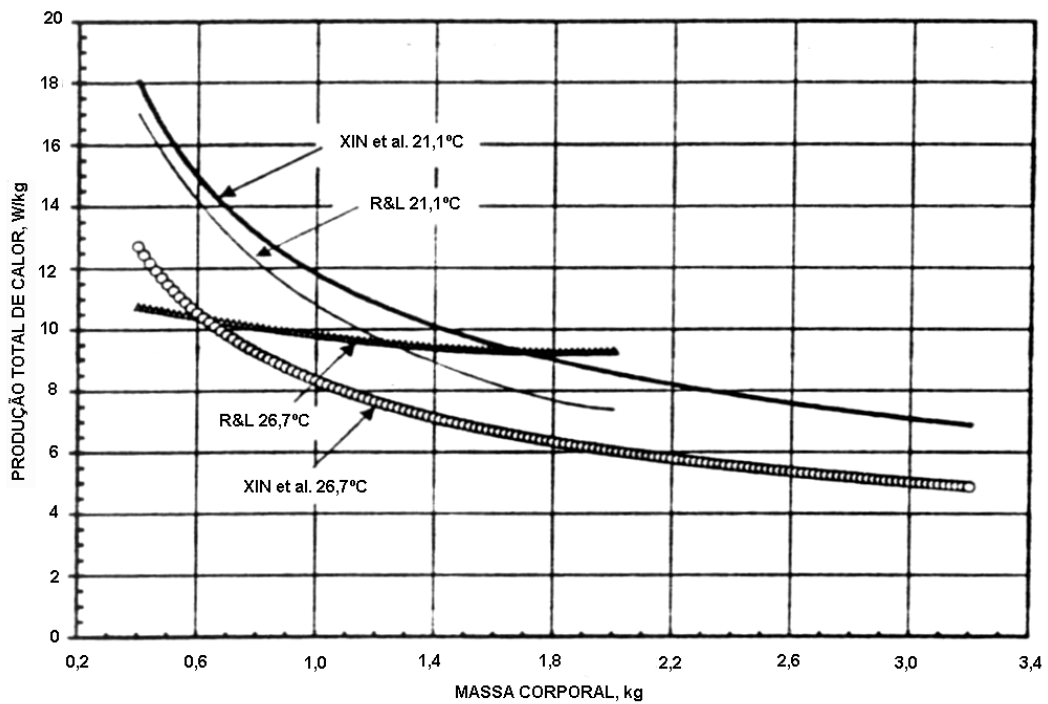


Figura 4 - Comparação entre o estudo de REECE e LOTT (1982) e XIN et al.(2001). Adaptado de XIN et al. (2001).

2.2. Índices térmicos ambientais para animais baseados em temperatura e umidade do ar

O conhecimento das necessidades ambientais dos animais e o estudo das condições climáticas da região e do microclima do local em que será implantado o sistema de produção permitem definir técnicas e dispositivos de construções que melhorem o conforto dos animais. Conforme McDOWELL (1974), a temperatura do ar é provavelmente o fator bioclimático mais importante que influencia o ambiente físico do animal. No entanto, apenas a temperatura do ar não é suficiente para avaliar as condições ambientais; para isso, deve-se acrescentar também a essa outras variáveis, como umidade relativa, velocidade do ar e energia radiante (PERDOMO, 1998).

Diversos índices térmicos ambientais foram criados com o objetivo de prever o conforto ou desconforto do animal em uma dada condição.

A temperatura de bulbo seco e a umidade do ar têm sido fatores ambientais muito usados para a elaboração desses índices. O Índice de Temperatura e Umidade - ITU, originalmente desenvolvido por THOM (1959), é o mais conhecido e usado,

Sendo dado por:

$$ITU = tbs + 0,36 tpo + 41,5 \quad (1)$$

em que

tbs = temperatura de bulbo seco, °C;

tpo = temperatura do ponto de orvalho, °C.

O ITU é um valor considerado adimensional, em que valores de até 74 representam ambientes confortáveis; de 74 a 78 exigem cuidado, alerta; de 79 a 84 são perigosos; e de 85 em diante - condição de emergência - podem causar a morte dos animais (NATIONAL WEATHER SERVICE, 1976)

De acordo com HAHN (1985), um valor de ITU igual a 70 ou menos indica condição normal, não estressante; um valor entre 71 e 78 é crítico; entre 79 e 83 indica perigo e acima de 83 condição de emergência (podem causar a morte dos animais).

Outros índices, baseados em temperatura de bulbo seco e umidade do ar, têm sido desenvolvidos desde então normalmente também com o nome de ITU.

BROWN-BRANDL & BECK (1998), desenvolveram uma série de índices para perus. Os efeitos fisiológicos da temperatura e umidade em grupos de perus com 6, 10, 15 e 20 semanas de idade foram determinados. Foram avaliadas para cada grupo de oito combinações de temperatura e umidade relativa entre 23 a 40 °C e 40 a 90%,

respectivamente. Foram usadas informações sobre a temperatura corporal, produção de dióxido de carbono e umidade para determinar o nível de estresse por calor. A temperatura e umidade relativa do ar foram similares em seus efeitos nas respostas fisiológicas das aves com seis semanas. Após 10 semanas de idade, a temperatura decresceu sua importância relativa como elemento de estresse e a umidade se tornou o fator mais importante para as aves manterem a homeotermia. Os índices de ITU desenvolvidos para cada idade foram:

$$ITU_{6\text{semanas}} = 0,53 \text{ tbs} + 0,47 \text{ tbu} \quad (2)$$

$$ITU_{10\text{semanas}} = 0,59 \text{ tbs} + 0,41 \text{ tbu} \quad (3)$$

$$ITU_{15\text{semanas}} = 0,53 \text{ tbs} + 0,47 \text{ tbu} \quad (4)$$

$$ITU_{20\text{semanas}} = 0,42 \text{ tbs} + 0,58 \text{ tbu} \quad (5)$$

em que

tbs = temperatura de bulbo seco, °C;

tbu = temperatura do bulbo úmido, °C.

BAËTA (1985) desenvolveu o Índice de Temperatura Equivalente (ITE), que engloba os efeitos da temperatura, umidade e velocidade do ar. O experimento foi realizado em câmaras climáticas utilizando-se vacas leiteras com potencial produtivo de 23,7 kg de leite/animal.dia. Em geral, foi encontrado que, para valores de umidade relativa do ar da ordem de 40%, a maior temperatura capaz de manter as condições de conforto para estes animais foi em torno de 28°C. Entretanto para umidades relativas mais altas, como 80%, a máxima temperatura foi em torno de 23°C, sendo que, em média, observou-se que este valor máximo de temperatura elevava-se de 1°C para cada 0,9 m/s de acréscimo na velocidade do ar. O Índice de Temperatura Equivalente (ITE), para vacas leiteras, é dado pela seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{ITE} = & 27,88 - 0,456 \text{ tbs} + 0,010754 \text{ tbs}^2 - 0,4905 \text{ UR} + \\ & 0,00088 \text{ UR}^2 + 1,1507 \text{ v} - 0,126447 \text{ v}^2 + 0,019876 \text{ tbs UR} - \\ & 0,046313 \text{ tbs v} \end{aligned} \quad (6)$$

em que:

tbs = a temperatura do ar em °C;

UR = a umidade relativa do ar em porcentagem; e

v = a velocidade do ar em m/s.

Podendo ser usado para temperaturas de 16°C a 41°C, umidade relativa de 40% a 90% e velocidades do ar de 0,5 a 6,5m/s.

DESHAZER & BECK (1988), desenvolveram o índice abaixo para galinhas poedeiras:

$$ITU = 0,6 tbs + 0,4 tbu \quad (7)$$

tbs = a temperatura do ar em °C;

tbu = a temperatura de bulbo úmido em °C;

2.3. Índices técnicos do desempenho de criações de frango de corte

Uma grande diversidade de estudos procura determinar a influência da condição ambiental na produção animal. Mas muitos estudos dão ênfase mais ao aspecto qualitativo do que quantitativo, ou seja, entender e descrever a influência muito mais que quantificá-la. Mesmo quando o peso de uma dada modificação ambiental é precisamente quantificado, normalmente os trabalhos não se preocupam em gerar um modelo que permita prever a produção em outros locais ou instalações. Existem algumas razões práticas para isto. A primeira é a limitação do trabalho a um número insuficiente de variações de um dado aspecto para permitir gerar uma equação. Também o nível de controle das condições ambientais não é adequado, sendo a pesquisa feita a mercê dos eventos meteorológicos. Outra razão é a diferenciação genética. Estudos de 20 anos atrás são ainda hoje corretos do ponto de vista qualitativos, mas o melhoramento genético torna os dados, do ponto de vista quantitativo, muitas vezes sem aplicação para as raças e variedades atuais. Além disso geralmente existem limitações no número e na forma da coleta de dados, por exemplo: alguns experimentos não avaliam quanto foi a incidência de radiação solar fora da instalação.

Dois aspectos devem ser modelados para a previsão da produção animal. Um é o desenvolvimento de modelos que permitam obter a produção a partir de dados de temperatura, umidade, ventos, etc. O outro é a modelagem da instalação para determinar temperatura, umidade, ventos, etc. dentro dela. Esta modelagem não é só estrutural, mas envolve também aspectos biológicos, já que os animais alojados produzem calor, umidade e são barreiras para o vento.

Desde o início da criação de frangos de corte em caráter comercial, os produtores tem buscado formas de avaliar o desempenho da sua atividade. As primeiras formas de controle foram a interpretação dos índices zootécnicos obtidos durante a criação. Os principais índices zootécnicos analisados tem sido a mortalidade, o peso médio e a conversão alimentar. Nunca houve nada de errado neste acompanhamento, porém ela se demonstrava insuficiente para determinar as atitudes a serem tomadas. Muitas vezes para se melhorar um determinado fator, como por exemplo a conversão alimentar, se lança mão de rações muito mais onerosas e com um resultado econômico insatisfatório.

As características principais de um bom índice de avaliação são a fácil obtenção, a fácil comparação, a representatividade e o fácil entendimento. MORAES (2000) assim define a utilização dos índices de Mortalidade, Peso Médio de Abate, Conversão Alimentar e Conversão Econômica de Ração:

a) Mortalidade - A mortalidade é um índice zootécnico que não pode ser relegado a um segundo plano. Apesar do custo do pinto de um dia representar algo em torno de doze por cento do custo total do quilo de frango inteiro resfriado, um aumento da mortalidade, especialmente na fase final de criação, poderá representar sensível incremento no custo de produção.

b) **Peso Médio de abate** - O peso médio de abate é um índice que deve ser analisado de pelo menos três pontos de vista. Na visão do produtor de frango vivo ele normalmente é visto como um fator que determina a eficiência com que o plantel transforma ração em carne, num determinado espaço de tempo. Outro objetivo a perseguir através do acompanhamento do peso médio é o atendimento das necessidades da indústria processadora, no que diz respeito a atingir padrões pré estabelecidos e a constância no atendimento destes padrões. A dificuldade na previsão do peso final de cada lote e a variabilidade de peso das aves dentro do lote, são os principais fatores que dificultam esta padronização. Atualmente existem alguns modelos matemáticos que se propõe a aumentar o índice de predição, através de análises estatísticas do histórico de cada produtor e da situação do plantel naquele instante. Apesar de já estarem disponíveis, estes modelos não são muito difundidos devido ao seu alto custo de implantação e da não percepção por parte da indústria dos grandes benefícios que este instrumento pode trazer. Finalmente o terceiro ponto de vista a ser analisado é a relação entre o peso final e os custos fixos, sejam eles diretos ou indiretos. A influência do peso final no faturamento da empresa é de grande impacto na diluição destes custos.

c) **Conversão alimentar** - O índice de conversão alimentar, que representa o consumo de ração por quilo de frango produzido, talvez seja o mais antigo fator que tenta correlacionar o resultado zootécnico com o desempenho econômico. No âmbito da análise interna de cada companhia, este índice pode servir de referência, uma vez que os pesos são normalmente constantes e os níveis nutricionais não diferem de forma significativa. Portanto o acompanhamento da evolução da conversão alimentar pode dar uma idéia do grau de eficiência em determinado instante, em comparação com resultados anteriores. Embora conversão alimentar não seja o parâmetro ideal para medir eficiência.

d) **Análise bio-econômica** - O valor da conversão econômica de ração representa a quantidade de dinheiro gasto, em ração, para a

produção de um quilo de frango vivo. Diversos fatores contribuem para a adoção deste método, sendo eles os seguintes: o custo da ração é muito representativo, perante o custo total; o custo de mortalidade além de não ser representativo, varia pouco; os custos fixos estão diretamente relacionados com o volume de produção e não com os índices zootécnicos. Este valor consegue medir simultaneamente dois fatores econômicos importantes, a conversão alimentar e a capacidade de comprar e utilizar os ingredientes da ração.

MEDEIROS (2001) desenvolveu equações para estimar uma série de índices zootécnicos a partir da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar: Ganho de Peso Diário (GPD), Consumo de Ração Diário (CRD), Conversão Alimentar (CA), Mortalidade (MORT), Temperatura Retal (TR), Temperatura da Pele (TP), Freqüência Respiratória (FR). Para modelar estatisticamente as respostas de frangos de corte em diferentes situações térmicas ambientais, MEDEIROS (2001) conduziu o experimento com aves, da marca comercial *Avian Farm*, criados de 1 a 21 dias de idade em galpões convencionais e de 22 a 42 dias em câmaras climáticas, onde se tinha controle total sobre o ambiente interno. Os tratamentos compreenderam combinações de 16, 20, 26, 32 e 36 °C de temperatura, com 20, 34, 55, 76 e 90% de umidade relativa e 0,0; 0,6; 1,5; 2,4 e 3,0 m.s⁻¹ de velocidade do ar.

As equações são dadas a seguir:

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 \text{GPD} = & -92,717789 + 14,292936 t + 0,253649 u - 9,515579 v \\
 & 0,290314 t^2 + 0,001538 u^2 + 0,974936 v^2 - 0,016171 tu \\
 & + 0,294444 tv - 0,007407 uv
 \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 \text{CRD} = & 28,963697 + 11,306258 t + 0,03095 u - 6,89328 v \\
 & 0,25476 t^2 + 0,002513 u^2 + 1,3084 v^2 - 0,01389 tu \\
 & + 0,24676 tv - 0,02579 uv
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 CA = & 6,364195 - 0,379572 t - 0,00151 u + 0,268889 v \\
 & 0,00748 t^2 - 0,00004651 u^2 - 0,049766 v^2 + 0,000258 tu \\
 & - 0,003704 tv - 0,000265 uv
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 MORT = & 66,440013 - 3,83543 t - 0,297764 u + 4,1292 v \\
 & 0,055285 t^2 + 0,00196 u^2 + 1,06822 v^2 + 0,00619 tu \\
 & - 0,14444 tv - 0,04127 uv
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 TR = & 46,102818 - 0,425395 t - 0,031012 u + 0,118907 v \\
 & 0,009092 t^2 + 0,00013 u^2 + 0,0263 v^2 + 0,000893 tu \\
 & - 0,006944 tv - 0,000661 uv
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 TP = & 37,202431 - 0,021798 t - 0,020131 u + 0,240519 v + 0,003517 t^2 \\
 & - 0,00016 u^2 - 0,021473 v^2 + 0,001687 tu \\
 & - 0,011574 tv - 0,00066 uv
 \end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 \wedge \\
 FR = & 311,30004 - 20,110938 t - 2,012626 u - 2,006346 v \\
 & 0,4059 t^2 + 0,006604 u^2 + 3,151145 v^2 + 0,05555 tu \\
 & - 0,37037 tv + 0,03968 uv
 \end{aligned} \tag{14}$$

em que

t = temperatura do ar, °C;

u = umidade relativa do ar, %; e

v = velocidade do ar, m.s⁻¹.

AERTS et al. (2003) elaborou uma aplicação de técnicas modernas do controle do processo na produção de frangos de corte. Propôs modelos dinâmicos baseados em dados para controlar a resposta metabólica dos frangos de corte ao micro ambiente. Segundo o autor a

resposta dinâmica da produção do calor às mudanças no nível da temperatura do ar e na intensidade da luz podem ser modeladas com um coeficiente médio de ajuste (R^2) de 0,83 e 0,93, respectivamente. Usando técnicas recursivas de estimação de parâmetros, a resposta do crescimento animal à fonte de alimento pode ser predita com um erro máximo de 5%, da predição de 3 a 7 dias adiante, dependendo do tipo de programação de alimentação. Os modelos baseados em dados se mostraram apropriados para o controle do crescimento de frangos de corte. Os estudos de AERTS et al. (2003) sugerem que o equilíbrio entre os aspectos ambientais, financeiros e biológicos na produção de frangos de corte pode ser resolvido com o desenvolvimento de sistemas de gerência integrados usando técnicas modernas do controle do processo.

BAUKER (1998), estudou os aspectos econômicos da criação de aves em ambientes climatizados quando comparados a aviários tradicionais. Neste trabalho comparou dois galpões, um convencional com área de 1224 m² e outro climatizado com 1500 m². No quadro 1 a seguir, estão apresentados os resultados para o galpão climatizado e sem climatização.

Quadro 1 - Resultados para o galpão climatizado e sem climatização (BAUKER, 1998).

	Climatizado	Sem Climatização
Área	1500 m ²	1224 m ²
Aves alojadas	26 000 aves	13 500 aves
Densidade	17,33 aves m ⁻²	11,03 aves m ⁻²
Peso médio final	2,4 kg	2,4 kg
Mortalidade	4 %	5%
Conversão alimentar	1,90	2,03

Pelo estudo a redução da conversão alimentar gera uma redução de custos da ordem de R\$ 1.178,00 por lote. O autor afirma que pelo

retorno do investimento fica bem claro a viabilidade dos sistemas climatizados.

2.4. Sistemas de Ventilação e Resfriamento Evaporativo

Resfriamento evaporativo é um processo que reduz a temperatura de bulbo seco enquanto aumenta a temperatura do ponto de orvalho do ar e a razão de mistura. A redução da temperatura de bulbo seco é limitada à depressão psicrométrica do ar que entra no sistema de resfriamento. Em contraste, a refrigeração mecânica é um processo não adiabático, resultando em uma mudança no total de calor da mistura ar-vapor d'água pela redução da temperatura de bulbo seco e, possivelmente acompanhada de uma redução na temperatura do ponto de orvalho (HAHN & OSBURN, 1970).

A incorporação de água ao ar pode ocorrer por aspersão, nebulização ou mesmo fazendo o ar atravessar uma parede porosa umedecida (placas evaporativas). Assim, o sistema de nebulização e o uso de placas evaporativas são duas técnicas de resfriamento evaporativo, que podem ser associadas à ventilação forçada de pressão positiva e/ou à ventilação de pressão negativa (TINÔCO & RESENDE, 1997).

2.4.1. Sistema de ventilação positiva em modo túnel

Nesse sistema, o galpão é fechado lateralmente por meio de cortinas bem vedadas, com aberturas similares nas duas extremidades. No caso de galpões que possuem lanternins, estes devem ser fechados. É possível utilizar forro para melhorar o conforto térmico e reduzir a taxa de ventilação. Os ventiladores devem estar posicionados ao longo do comprimento do galpão, de forma a succionar o ar de uma extremidade e levá-lo para fora através da extremidade oposta. Segundo TINÔCO &

RESENDE (1997), os ventiladores devem entrar em funcionamento quando a temperatura do ar interno ultrapassar 25°C, e a nebulização, deve ser acionada quando a temperatura ultrapassar 29°C, com as cortinas laterais previamente fechadas. No momento em que a umidade do ar atinge cerca de 80%, o sistema de nebulização deve ser desligado e as cortinas abertas, permanecendo em funcionamento apenas os ventiladores.

A principal vantagem do sistema de ventilação em modo túnel é possibilitar altas velocidades do ar por toda a instalação, não importando as condições do vento, resultando em melhor desempenho das aves pela redução dos efeitos do estresse calórico (BOTTCHEER et al., 1995).

2.4.2. Sistema de ventilação negativa

No sistema de ventilação negativa, o ar é succionado de dentro do galpão para fora através de exaustores, sendo necessário uma boa vedação da instalação. Tipicamente, os exaustores são colocados numa extremidade do galpão e placas com material poroso, umedecido para propiciar a evaporação, na outra extremidade. Não necessariamente se usará o resfriamento evaporativo, podendo o sistema ser usado sem o umedecimento do material poroso ou nebulização, sendo feito apenas o sistema de ventilação. (TINÔCO, 2001b)

2.4.3. Sistema de ventilação positiva lateral

No sistema de ventilação positiva lateral, associado à nebulização interna, os ventiladores são posicionados transversalmente ao comprimento do galpão, no sentido do vento dominante, aproveitando, assim, a ventilação natural, no aumento da eficiência do sistema. A entrada do ar é feita por uma das laterais do galpão e a saída pela lateral

oposta, no sentido da largura da construção. As cortinas permanecem abertas durante todo o tempo em que o sistema está em funcionamento.

2.4.4. Medidas de eficiência

Para medir a eficiência do sistema de resfriamento evaporativo, a ASHRAE (ASHRAE SYSTEMS ... , 1996) indica a seguinte equação:

$$\varepsilon_e = 100 \frac{(t_1 - t_2)}{(t_1 - t')} \quad (15)$$

Em que:

ε_e = resfriamento evaporativo direto ou eficiência da saturação , %;

t_1 = temperatura de bulbo seco do ar de entrada, °C;

t_2 = temperatura de bulbo seco do ar de saída, °C; e

t' = temperatura de bulbo úmido do ar de entrada, °C.

Nota-se na Equação 15 que a eficiência de resfriamento é estreitamente relacionada à depressão psicrométrica.

Para sistemas de nebulização a forma acima é questionada, pois, taxas de nebulização são tipicamente não relacionadas diretamente com a taxa de ventilação já que os sistemas de ventilação e nebulização operam independentemente. Também, a temperatura do ar resfriado que sai de um sistema de painéis evaporativos pode ser adequadamente medida e usada para determinar a eficiência, mas a temperatura interior de um aviário com um sistema de nebulização operando é afetada pelo calor latente e sensível proveniente das aves e de outras superfícies. A eficiência de um sistema de nebulização é mais bem caracterizada pela fração da névoa que evapora, designada por β (BOTTCHEER et al., 1991).

2.5. Balanço de calor e umidade num galpão avícola

Segundo ALBRIGHT (1990), o calor sensível que entra em um galpão avícola pode ser determinado pela seguinte equação:

$$q = q_s + q_m + q_{so} + q_h + q_{vi} + q_w + q_f + q_{vo} \quad (16)$$

em que:

q_s : calor sensível liberado pelos animais.

q_m : calor sensível ganho de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes.

q_{so} : calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior da instalação.

q_h : calor sensível ganho pelo sistema de aquecimento.

q_{vi} : calor sensível contido no ar de ventilação que entra na instalação. Pode-se considerar somente a diferença entre o calor sensível do ar que entra e do que sai.

q_w : calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como do telhado, das paredes, das portas, etc.

q_f : calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro da construção. Normalmente se considera este tipo de transferência de calor desprezível.

q_{vo} : calor sensível contido no ar de ventilação que sai da instalação.

GATES et al. (1995), propôs um modelo simplificado para estimar a temperatura e umidade no interior de um galpão que considera apenas a umidade e temperatura do ar externo, a vazão mássica do ar no galpão e a produção de calor sensível e latente das aves alojadas. Maiores detalhes do referido modelo estão apresentados na seção Material e Métodos.

SILVA (2003) avaliou a utilização para o Brasil do modelo proposto por GATES et al. (1995). O modelo se mostrou adequado na forma proposta por GATES et al. (1995) para galpões com vazão mássica do ar elevada, 120,8 kg de ar por segundo ou maior. Sendo necessário um fator de correção referente a uma série de fontes de calor desprezada pelo modelo para galpões sem uma grande vazão mássica, ou a inclusão dessas fontes.

PARMAR et al. (1992) desenvolveu um modelo para prever a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa em galpões avícolas para a criação de perus. Os modelos existentes da simulação do tempo foram combinados e modificaram a fim desenvolver um modelo para prever a temperatura de bulbo seco e a umidade fora do aviário. O modelo da simulação do tempo foi validado usando 20 anos de dados meteorológicos diários de Roanoke, Virgínia. O ambiente térmico dentro do aviário foi previsto a partir dos dados externos simulados usando as equações de balanço de massa e energia. A parte de previsão do ambiente interno do aviário no modelo foi validada usando dados de temperatura interna e externa de um aviário na Virgínia. A temperatura interna prevista foi próxima da temperatura observada exceto em dias muito frios (com temperatura exterior média de 2°C mais ou menos). Também os erros na predição da temperatura eram menores com aves mais velhas do que com mais novas.

TURNPENNYA et al. (2000a) desenvolveram um modelo matemático baseado na física de transferência de calor para prever os componentes da perda de calor de um animal homeotérmico com relação às circunstâncias ambientais. O tronco dos animais foi tratado como três cilindros isolantes concêntricos em torno de um núcleo de geração de calor, representando o tecido do corpo, o revestimento e o ambiente circunvizinho. O modelo explicou também perdas de calor dos membros do corpo. As entradas do modelo eram os dados meteorológicos de hora em hora, parâmetros e/ou variáveis da fisiologia do animal, e as respostas termoreguladoras das diferentes espécies às circunstâncias ambientais.

Os componentes da perda de calor foram calculados pela iteração das equações do balanço de calor, presumindo o fluxo constante de calor.

TURNPENNYA et al. (2000b) aplicaram o modelo matemático desenvolvido para carneiros ao ar livre, gado ao ar livre, porcos em galpões e frangos de corte em galpões. As variáveis climatológicas consideradas no modelo incluem temperatura, a velocidade do vento, pressão do vapor e a radiação solar. Para carneiros, a variação sazonal na profundidade do pelo, e o balanço térmico foram feitos pela resposta metabólica, vasodilatação e pulsação. Para o gado, as respostas térmicas incluíram a transpiração e a ereção dos pelos. O isolamento fornecido para os suínos por pêlos foi negligenciada por serem escassos, mas o aumento no isolamento do corpo com idade e circunstâncias ambientais foi incluído como uma determinante principal da perda de calor. Para frangos, o isolamento fornecido pelo tecido do corpo e as penas foram descritos por uma única resistência térmica. Suas respostas térmicas incluíram o arrepiar das penas, a ação vasomotora na crista e nos pés e as mudanças na taxa de respiração e na temperatura de corpo. Os modelos foram testados com sucesso para cada espécie simulando as circunstâncias experimentais usadas em trabalhos precedentes e comparando as previsões com os valores medidos da perda de calor, da pele e da temperatura do corpo. A interceptação da radiação solar por animais ao ar livre foi testado também com sucesso para elevações solares até 45°.

2.6. Mudança de Escala

A escala pode ser definida como uma dimensão (ou tamanho) característica, espacial e/ou temporal de uma observação ou um processo ou um modelo deste processo que encapsula um estado geralmente discreto desse processo ou alternativamente uma transição entre estados desse processo. Intuitivamente, a escala é uma indicação de uma ordem de valor melhor que um valor específico.

Escalonar representa conceitos transcendentais que ligam processos em níveis distintos no tempo e no espaço. É necessário se distinguir entre *upscaling*, isto é o processo de extrapolação do local que a escala específica das observações é feita (por exemplo precipitação em um ponto) ou em no que se aplique relacionamentos teóricos (por exemplo a redistribuição temporal da água do solo de acordo com equação de Richards), a uma escala mais grosseira do estudo (por exemplo a célula da grade de um GCM - Modelo de Circulação geral da Atmosfera) e de *downscaling*, isto é fazer o exame da saída em grande-escala da observação ou de um modelo (por exemplo a situação sinóptica do tempo ou uma célula da grade de um GCM) e deduzir as mudanças que ocorreriam em uma resolução mais fina (por exemplo em 1 h, ou em uma área menor).

Escalonamento, envolve conseqüentemente mudanças nos processos, para cima ou para baixo, de uma dada escala da observação e inclui assim as restrições e as respostas que podem ser associadas com tais mudanças. São incluídas no conceito de escalonamento as mudanças na variabilidade espacial e temporal, nos testes padrões da distribuição e na sensibilidade. Assim, escalonar vai além da simples agregação (para cima) ou da desagregação (para baixo) dos valores de um nível para conseguir valores em um nível mais conveniente para análise (SCHULZE, 2000).

Os componentes principais nos termos mudança ou acerto de escala são *upscaling* e *downscaling*. *Upscaling* é o processo de agregar a informações coletadas em uma escala fina para uma escala mais grosseira. *Downscaling* é o processo de detalhar a informação coletada em uma escala grosseira para uma escala mais fina. Em *upscaling*, a distinção é necessária entre *upscaling* dos processos e *upscaling* dos dados. O primeiro concerne a existência dos processos diferentes que agem em escalas diferentes. Para o *downscaling*, conseqüentemente,

estes processos são combinado, isto é tem que ser identificado como estes processos interagem (STEIN et al., 2001).

Embora os modelos gerais da circulação (GCMs) representem as características principais da circulação atmosférica global razoavelmente bem, seu desempenho em reproduzir detalhes climáticos regionais é muito pobre. Isto é particularmente verdadeiro para variáveis tais como a velocidade de vento na superfície e precipitação. Com respeito à simulação de climas regionais os GCMs sofrem diversas limitações, incluindo a falta de dados exatos em grande parte da superfície, da inabilidade das parametrizações em modelar muito bem escalas mais finas e do enorme tempo computacional requerido para rodar com altas resoluções. Daí, a maioria de GCMs rodam com uma definição espacial relativamente grosseiras geralmente de 2.0° para a latitude e a longitude (> 200 km para latitudes médias). O resultado direto da resolução espacial pobre nos GCMs é uma grande discrepância entre a escala dos possíveis cenários de mudanças climática disponíveis e a escala do interesse aos usuários dos dados de clima. Em consequência há uma necessidade de se desenvolver ferramentas para *downscaling* das predições dos GCMs da mudança do clima às escalas regionais e locais (SAILOR, 2002).

Aceita-se geralmente que nem a geração atual nem a seguinte dos GCMs terá a resolução espacial ou temporal requeridas para permitir avaliações diretas dos impactos da mudança climática futura. Inúmeros métodos foram propostos para ligar a escala relativamente grosseira da saída de GCM com a escala mais fina requerida para avaliações realísticas do impacto climático. Os métodos, que foram denominados *downscaling*, caem principalmente em três categorias (CONWAY & JONES, 1998):

1. Relações estatísticas entre as escalas planetárias dos GCMs e o escala local de tempo. As várias abordagens foram desenvolvidas para lidar com, o que é chamado de problema da escala de sub-grade.

2. Relações empíricas baseadas nos processos físicos entre as duas escalas citadas no itens anterior, usando classificações de tempo ou de circulação para definir a escala maior. Esta técnica tem bastante literatura só recentemente tem sido aplicada ao problema de *downscaling*.
3. Aninhar uma escala com uma grade mais fina usando um modelo para uma área limitada dentro de um GCM.

Em *downscaling*, uma desagregação de uma escala mais grosseira para uma escala mais fina ocorre (Figura 5) e, ao fazer isto, surge o problema de representar a heterogeneidade mais detalhada da escala fina a partir de uma resolução espacial e temporal menor. Mais especificamente, dentro do contexto de impactos potenciais da mudança do clima, o alvo principal de *downscaling* é facilitar a aplicação dos modelos em grande escala na escala local (isto é < 10 Km) com os problemas locais de recursos de água e suas consequências para os fazendeiros. Entretanto, tais modelos usariam a entrada atmosférica de GCM com uma resolução espacial de 100 quilômetro. Uma hierarquia dos métodos de *downscaling* com o aumento da complexidade e do custo computacional, com esperança de um aumento na exatidão local, é mostrado na Tabela 1 (SCHULZE, 2000).

Tabela 1 – Métodos de *downscaling* de grande escala para escala local (adaptado de SCHULZE, 2000).

Objetivo	Método	Complexidade e custo
Modelo de circulação geral da atmosfera (GCM)		-
↓	<ul style="list-style-type: none"> ○ Nada: usa o ponto mais próximo ○ Acrescenta ao ponto mais próximo correções para o ponto desejado ○ Técnicas de Interpolação ○ Métodos estatísticos de <i>downscaling</i> ○ Modelos Climáticos Regionais (mesoescala) 	↓
Escala Local		+

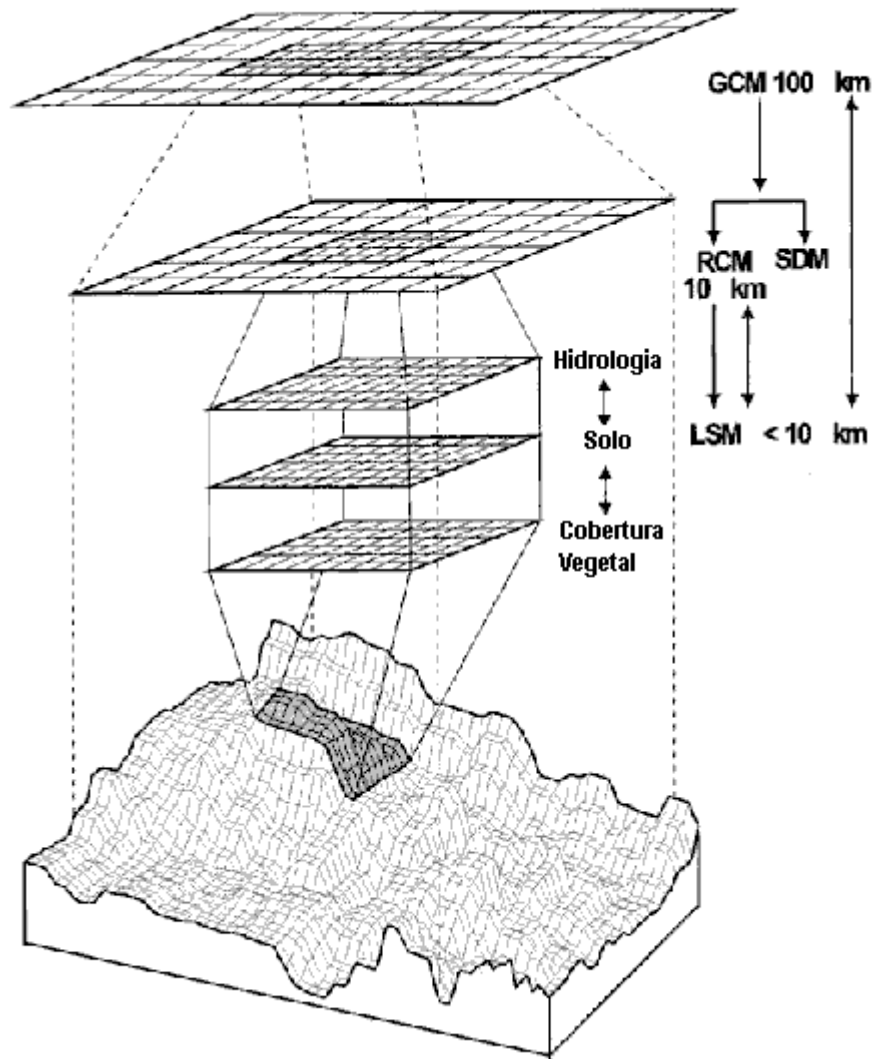


Figura 5 – Conceito de *downscaling* (adaptado de SCHULZE, 2000).

GCM – Modelo Geral de Circulação Atmosférica

SDM – Métodos Estatísticos de *Downscaling*

RCM – Modelo Climático Regional

LSM – Modelo de Escala Local

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Geração da base de dados climatológicos

Foram utilizados dados climáticos da Re-análises 2 do NCEP(National Centers for Environmental Prediction)/NCAR(The National Center for Atmospheric Research) do período de 01.01.1980 à 31.12.2000 para o território brasileiro. As Re-análises 2 estão na grade gaussiana de 1,875 graus de resolução espacial e 6 horas de resolução temporal (0:00Z, 6:00Z,12:00Z,18:00Z, Tempo Médio de Greenwich). Estes dados englobam uma série de variáveis, entre elas temperatura de bulbo seco a dois metros do solo, temperatura de bulbo seco mínima a dois metros do solo e umidade absoluta a dois metros do solo.

O tratamento dos dados foi feito pela combinação de programas implementados em FORTRAN 95 e um Sistema de Informações Geográficas , o Grid Analysis and Display System (GrADS).

Para a obtenção de valores horários de temperatura para estudar o efeito e o benefício da climatização da instalação pelo resfriamento evaporativo, foi adotada a metodologia alternativa proposta por ZOLNIER

et al. (1996), que utiliza dados de temperatura e temperatura mínima do ar obtidos nos horários de 12:00, 18:00 e 24:00 horas (Tempo Médio de Greenwich).

As variáveis psicrométricas foram calculadas por meio de rotinas desenvolvidas em linguagem de programação C por ZHANG & GATES (1995), sendo, no entanto convertidas para a linguagem FORTRAN 95. O cálculo da temperatura de bulbo úmido é feito, nessas rotinas, utilizando interações sucessivas (ZHANG et. al.,1997).

A interpolação espacial foi feita primeiro pela conversão dos valores de temperatura e de umidade para o nível do mar, a partir da orografia utilizada pelas Re-análises 2. Posteriormente foi feita a interpolação da grade gaussiana para a grade regular, por peso de área, mantendo-se a resolução de 1,875 graus e finalmente interpolando-se para 20' usando a função regrid do GrADS. Os valores de temperatura e umidade foram então convertidos para a altitude dada pela orografia de 20' obtida por meio do modelo digital de elevação gerado pela SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (GEOWORLD, 2000).

3.2. Desenvolvimento do programa de modelagem do ambiente interno de galpões avícolas

Para simulação das condições ambientes no interior da instalação, foi utilizado o modelo de comportamento térmico desenvolvido por GATES et al. (1995) para galpões avícolas nos Estados Unidos com o acréscimo de um Δ correspondente ao calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como do telhado, das paredes, das portas, etc; proposto por SILVA (2003) .

O modelo proposto utiliza dados climáticos de temperatura e de umidade relativa, produção de calor latente e sensível das aves alojadas,

vazão mássica do ar e eficiência do sistema de resfriamento evaporativo, para cálculo da temperatura de bulbo seco e umidade no interior da instalação.

As equações propostas por GATES et al. (1995) e modificadas por SILVA (2003) para instalações sem resfriamento evaporativo são apresentadas a seguir.

$$t_{d,bs} = t_{f,bs} + \frac{q_s n_a m_a + \Delta}{\dot{m} c_p} \quad (17)$$

$$UE_d = UE_f + \frac{q_L n_a m_a}{\dot{m} h_{fg}} \quad (18)$$

Para instalações com sistema de resfriamento evaporativo é considerado também o calor retirado do ar pelo sistema e o vapor d'água acrescentado, como se vê nas equações abaixo.

$$t_{d,bs} = t_{f,bs} + \frac{q_s n_a m_a + \Delta - \beta \dot{m}_w h_{fg}}{\dot{m} c_p} \quad (19)$$

$$UE_d = UE_f + \frac{q_L n_a m_a + \beta \dot{m}_w h_{fg}}{\dot{m} h_{fg}} \quad (20)$$

em que:

- $t_{d,bs}$ = temperatura de bulbo seco, dentro do galpão, °C;
- $t_{f,bs}$ = temperatura de bulbo seco, fora do galpão, °C;
- q_s = calor sensível produzido, W kg⁻¹de massa do animal vivo;

q_l	= calor latente produzido, $W \text{ kg}^{-1}$ de massa do animal vivo;
n_a	= número de aves alojadas;
m_a	= massa por ave, kg do animal vivo;
\dot{m}_w	= vazão da água, kg de água·s ⁻¹ ;
\dot{m}	= Vazão do ar, kg de ar·s ⁻¹ ;
β	= Fração da névoa evaporada;
c_p	= Calor específico do ar, $J \text{ kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$;
UE_d	= Umidade específica do ar dentro do galpão, kg de vapor d'água kg^{-1} de ar;
UE_f	= Umidade específica do ar fora do galpão, kg de vapor d'água kg^{-1} de ar; e
Δ	= Calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como do telhado, das paredes, das portas, etc.
h_{fg}	= Calor latente de vaporização, $J \text{ kg}^{-1}$, usado $2,43 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ (GATES et al., 1995)

As seguintes considerações iniciais foram feitas:

- A produção de calor sensível e de calor latente pelas aves é constante e uniforme;
- calor sensível proveniente de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes, é desprezível;
- O calor sensível resultante da absorção da radiação solar incidente diretamente no interior da instalação é desprezível;
- O calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como telhado, paredes e portas é constante e unidimensional;
- O calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro da construção é desprezível;
- A taxa de ventilação é constante e não é considerado possíveis infiltrações de ar pela estrutura e cortinas; e
- O sistema de resfriamento funciona uniforme e continuamente.

Para cálculo da produção de calor latente e sensível pelas aves foi utilizada a equação desenvolvida por PEDERSEN & THOMSEN (2000), dada abaixo:

$$q_t = 9,84m_a^{0,75}(4 \cdot 10^{-5}(20 - t_{bs})^3 + 1) \quad (21)$$

$$q_s = 0,83q_t(0,8 - 1,85 \cdot 10^{-7}(t_{bs} + 10)^4) \quad (22)$$

em que:

q_t = produção total de calor, W k⁻¹;

q_s = calor sensível produzido, W;

m_a = massa por ave, kg do animal vivo; e

t_{bs} = temperatura de bulbo seco, °C.

3.3. Geração de mapas de ITU

A partir dos dados climáticos simulados, foram gerados mapas para o território brasileiro com valores de ITU (THOM, 1959), assim como temperatura e umidade. Os mapas foram gerados para o ambiente interno e externo à instalação. Particularmente para o ambiente interno, foram consideradas instalações com ou sem sistema de resfriamento evaporativo. Os mapas foram gerados com a utilização combinada de dois Sistemas de Informações Geográficas: o Grid Analysis and Display System (GrADS).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são basicamente mapas gerados a partir de dados ambientais e simulações matemáticas que apontam as condições ambientais para a produção animal sob o aspecto térmico, focando-se na avicultura de corte. O trabalho foi feito para toda extensão do território brasileiro

Como trabalhos conexos pode-se citar SILVA JÚNIOR (2001) que realizou um mapeamento da região Sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade mas voltado para o gado de leite e não em bases hórarias. OLIVEIRA (2004) trabalhando também na região Sudeste avaliou o impacto do ITU em animais e trabalhadores rurais. Nos Estados Unidos da América GATES et al. (1995) fizeram um estudo baseado em um índice de conforto térmico para galinhas poedeiras; HAHN e OSBURN (1970) realizaram um estudo para vacas leiteiras. Trabalhos mais localizados também podem ser citados como: ZOLNIER (1991) que verificou a potencialidade da utilização do sistema de resfriamento

evaporativo na produção de leite nas localidades de Barbacena, Montes Claros, Patos de Minas, Pompéu e Viçosa; CAMPOS et al. (2002) que verificaram o potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná. LUCAS et al. (2000) verificaram o potencial do uso do resfriamento evaporativo no Alentejo, Portugal.

Na área vegetal mapeamentos climáticos tem sido feitos mais freqüentemente. Entre eles cita-se: MALUF et al. (2001) que mapearam os riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul, BRAGA et al (2001), mapearam os riscos climáticos para a produção de maçã no estado de Santa Catarina, SILVA e ASSAD (2001) mapearam os riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia, AGUIAR et al. (2001) fizeram um zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro na Região Nordeste do Brasil e no norte de Minas; TEIXERA et al. (2002) verificaram a aptidão climática da cultura da videira no estado da Bahia; EVANGELISTA (2002) realizaram um zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais.

4.1. Resultados a partir do dados de Re-analises 2

4.1.1. Externos – cálculo de ITU

Analisando os valores de ITU, das médias horárias obtidas no exterior da instalação percebe-se, nos meses mais frios, um padrão fortemente associado com a latitude. Quanto mais próximo do equador maior é o valor do ITU. (Figura 6). Há uma ligeira tendência de parte da região sudeste e centro oeste divergirem deste padrão. Esta divergência é agravada no período de verão em que a região Sudeste tem predominantemente valores de ITU mais amenos que a região Centro Oeste na mesma latitude (figura 7). Os mapas abaixo são dos valores médios de ITU entre as 09h e 15h por normalmente serem os horário mais quente do dia e dos meses de Julho (em geral frio e seco) e Dezembro (em geral quente e úmido).

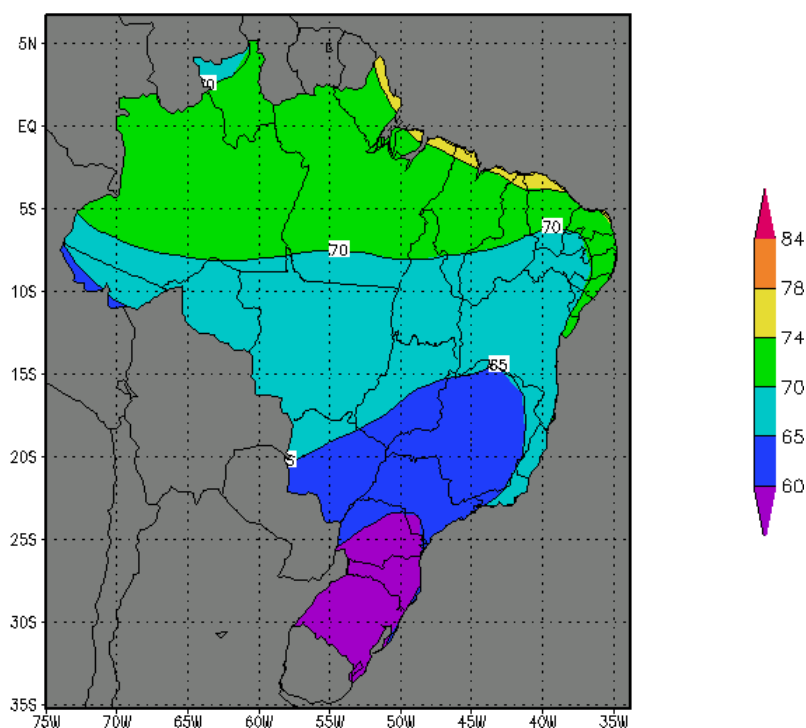


Figura 6: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Julho no exterior da instalação.

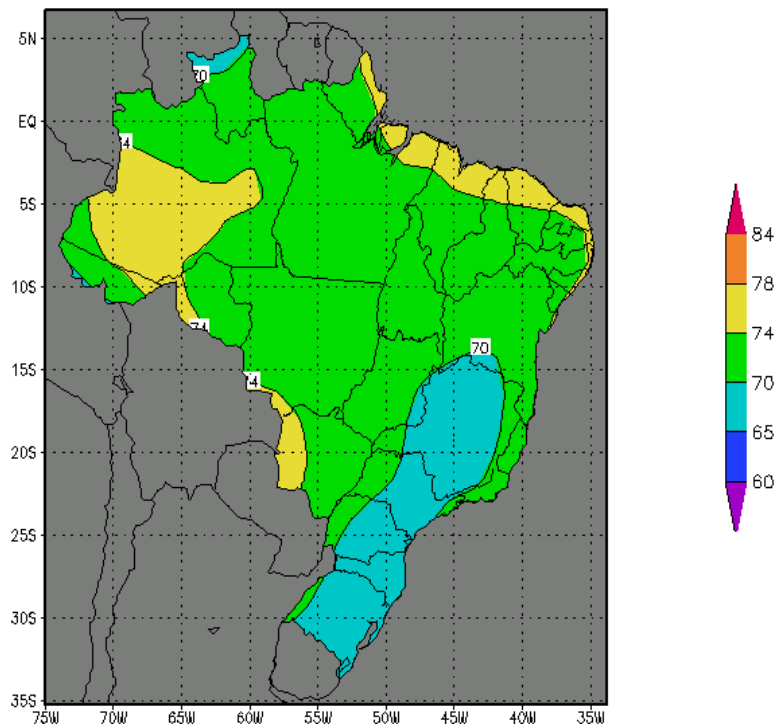


Figura 7: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Dezembro no exterior da instalação.

Verificando também os dados referentes a porcentagem de horas com ITU acima de 71, valor a partir do qual segundo HAHN (1985) podem haver perdas produtivas, nota-se um padrão similar com uma forte correlação entre a latitude e a porcentagem de horas com ITU acima de 71 no inverno (Figura 8) e uma diferenciação entre a região sudeste e centro oeste no verão. Nota-se também a grande área com ITU acima de 71 no verão (figura 9).

É importante observar que os estudos de HAHN não necessariamente se aplicam do mesmo modo em animais “tropicalizados”. Além disso, o NATIONAL WEATHER SERVICE (1976) considera um ITU até 74 confortável.

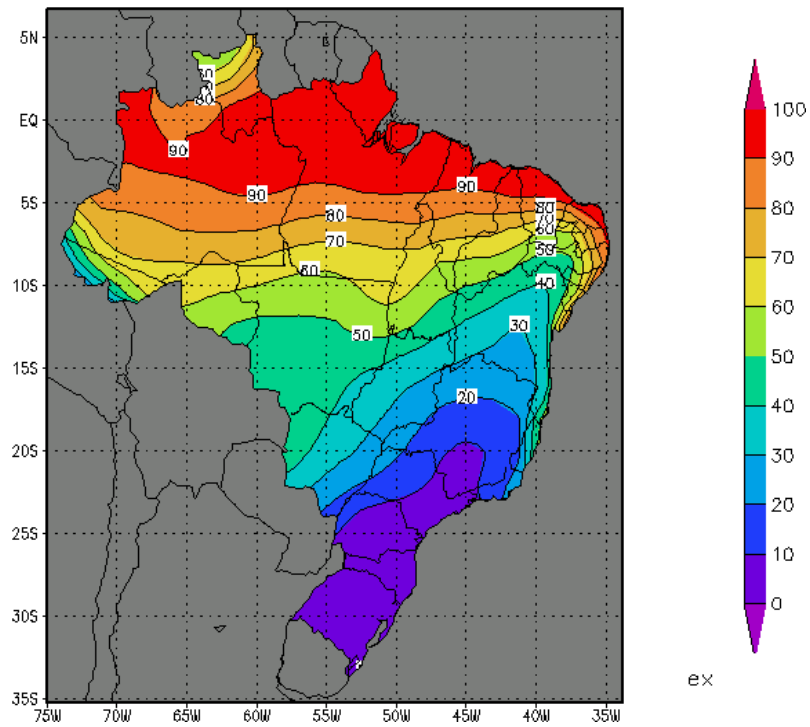


Figura 8: Porcentagem de horas com ITU acima de 71 em Julho no exterior da instalação.

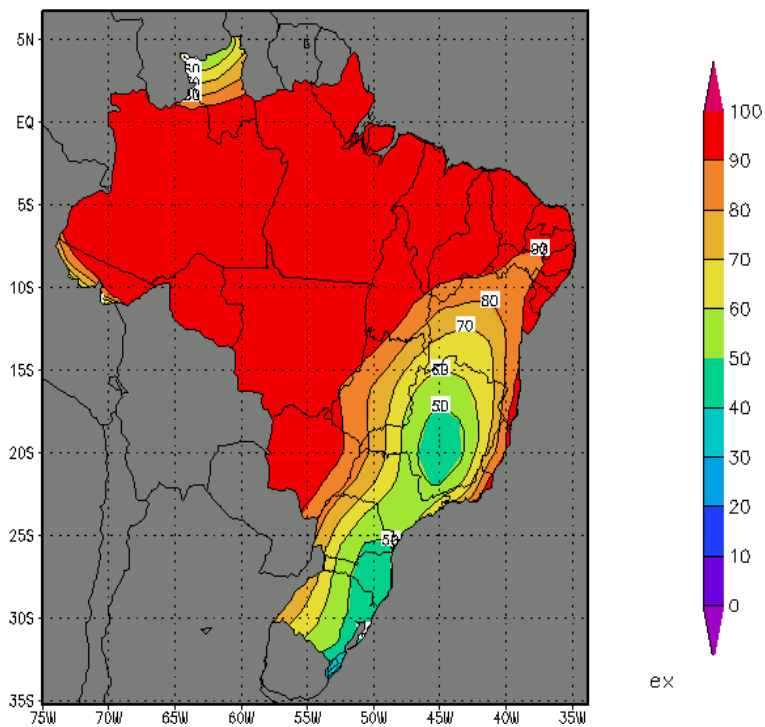


Figura 9: Porcentagem de horas com ITU acima de 71 em Dezembro no exterior da instalação.

Os valores de ITU mais amenos no norte de Roraima são devido a elevada altitude da região como pode ser verificado na figura 10.

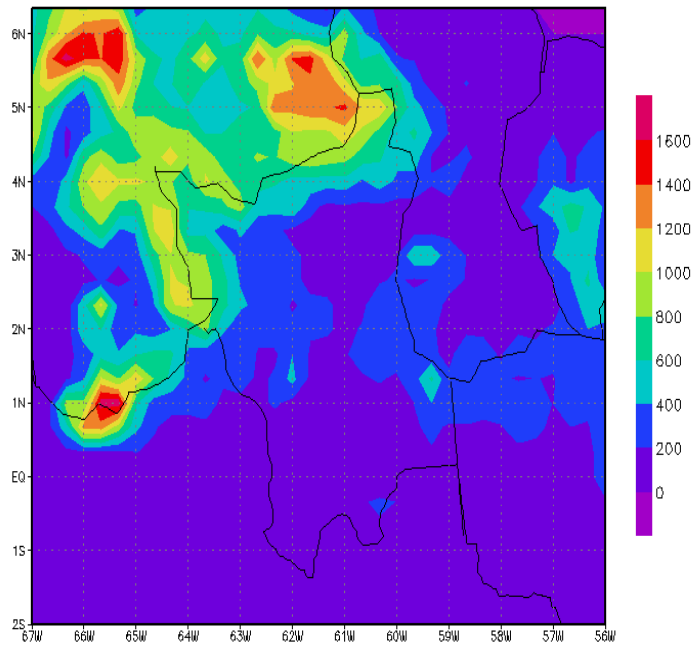


Figura 10: Altitudes de Roraima e proximidades

4.1.2. Internos - simulação de galpão.

Estes resultados referem-se a um galpão com sistema de resfriamento evaporativo constituído de painéis evaporativos de celulose com eficiência de 70%, tendo 21.000 (vinte um mil) frangos de corte com massa de 1,89 kg cada alojados e vazão mássica de 120,8 kg de ar por segundo. Utilizado o modelo de comportamento térmico desenvolvido por GATES et al. (1995) para galpões avícolas nos Estados Unidos com o acréscimo de um Δ correspondente ao calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como telhado, paredes, portas, etc proposto por SILVA (2003) .

A primeira vista, a região norte parece mostrar um grande potencial de uso do resfriamento evaporativo devido as altas temperaturas. Mas esta impressão é enganadora, pelo menos no que diz respeito a avicultura pois como pode ser visto nas Figuras 11 e 12 o número de horas com ITU acima de 84 na região Norte, em que o risco de morte do animal é grande. Isto ocorre porque o sistema de resfriamento evaporativo está limitado pela depressão psicrométrica. Além disso é recomendável que o valor de umidade relativa do ar não ultrapasse 80% (BAIÃO,1995). Por se tratar de uma região com índices muito altos de umidade relativa o sistema teria de estar desligado durante períodos críticos, ou seu efeito seria reduzido.

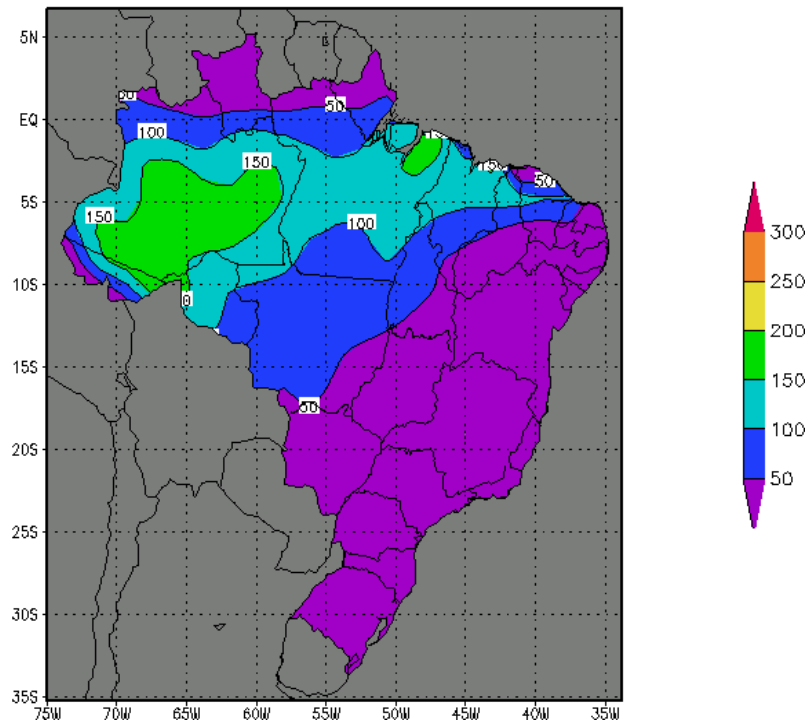


Figura 11: Numero de horas de forte estresse térmico (ITU > 84) em setembro.

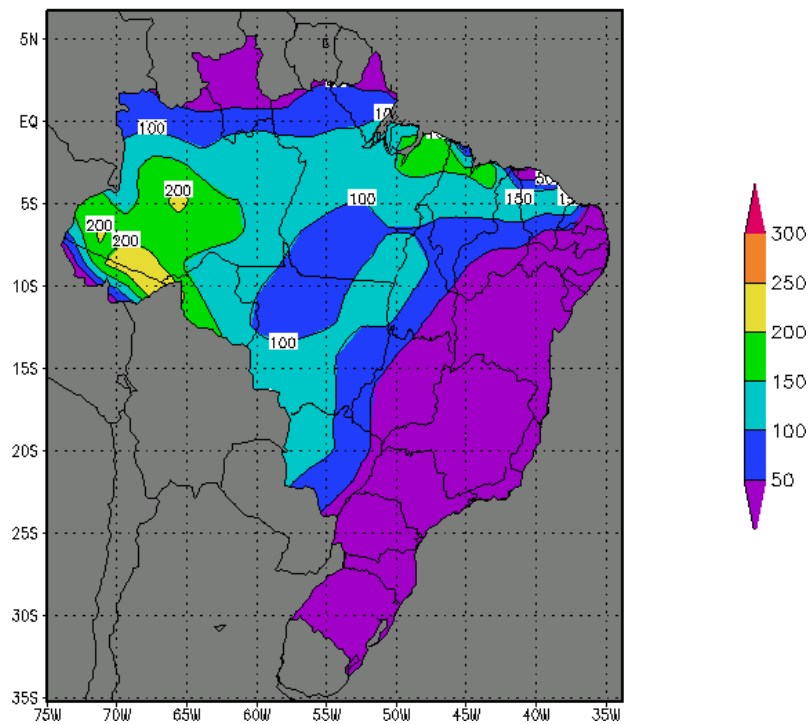


Figura 12: Numero de horas de forte estresse térmico (ITU > 84) em outubro.

Duas observações importantes, a primeira é que o limite de 80% não respeitado na prática pelos produtores, que muitas vezes mantêm o sistema de resfriamento evaporativo ligado mesmo quando a umidade no interior da instalação ultrapassou 80%. A segunda é que o valor de ITU calculado no interior do galpão é um valor médio e existe um gradiente de temperatura interno sendo normalmente a proximidade da cama mais quente, por serem as aves uma grande fonte de calor e possivelmente uma menor ventilação por causa da formação de uma camada limite sobre os frangos.

Nas Figuras 13 temos a média anual de ocorrências de ITU acima de 74 por um período de mais de 3 hora contínuas. Na Figura 14 o mesmo para um valor de ITU acima de 84.

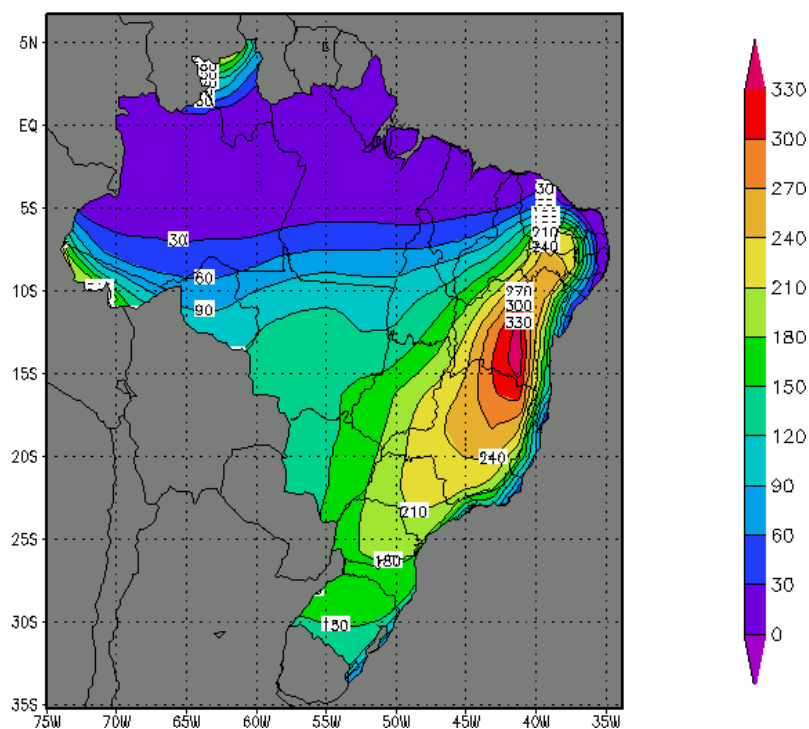


Figura 13: Média anual de ocorrências de ITU acima de 74 por um período de mais de 3 hora contínuas.

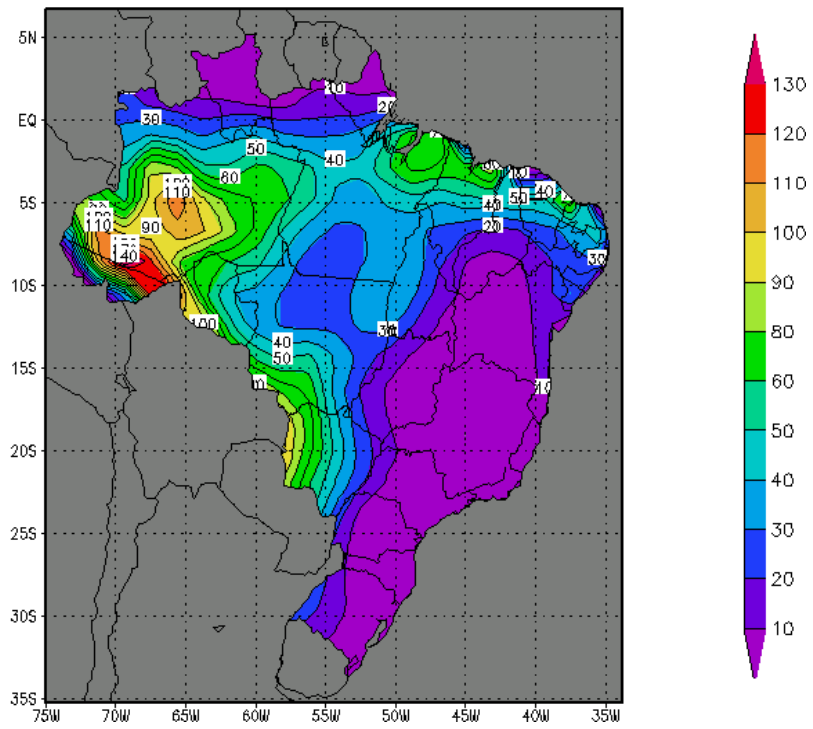


Figura 14: Média anual de ocorrências de ITU acima de 84 por um período de mais de 3 hora contínuas

4.1.3. IAPfc dentro de uma instalação com resfriamento.

MEDEIROS (2001) desenvolveu o Índice Ambiental de Produtividade- IAPfc. Presume-se que um índice mais adequado seja aquele em que a comparação entre as diversas combinações de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar é feita com base nas respostas fisiológicas e de produtividade dos animais. Se duas combinações com diferentes valores das variáveis consideradas conduzem a uma mesma resposta fisiológica ou de produtividade, é de se esperar que tenham a mesma qualidade ambiental. O trabalho foi realizado em câmaras climáticas com temperatura, umidade e velocidade do ar constantes em várias combinações nos intervalos de 20% a 90% de umidade relativa, 16 a 36 C°, velocidade do ar de 0,6 a 2,4 m/s.

$$\begin{aligned} IAPfc = & 45,6026 - 2,31072 t - 0,368331 u + 9,70922 v \\ & + 0,0549243 t^2 + 0,00121828 u^2 + 0,66329 v^2 + 0,0128968 tu \\ & - 0,300928 tv - 0,0595245 uv \end{aligned} \quad (23)$$

$$R^2 = 0,94$$

em que

t = temperatura do ar, °C;

u = umidade relativa do ar, %; e

v = velocidade do ar, m.s⁻¹.

Os valores do índice entre 21 e 24 estão associados à máxima produtividade; para valores entre 25 e 27, registrou-se perda de peso da ave em torno de 1 a 5%; para valores entre 28 e 30, perda de 5,1 a 15%; para valores entre 31 e 34, perda de 15,1 a 30%; e para valores acima de 35, perda de 30,1 a 87%.

Utilizando os dados obtidos com o modelo e as condições descritas no item 4.2.1 e calculando o IAPfc calculado de acordo com a eq. 23 (MEDEIROS, 2001) para cada hora e depois a média do mensal, o mês com maior área dentro da faixa ideal foi julho como podemos ver na Figura 15. Os meses de verão tem os piores desempenhos médios no geral do país (Figura 16).

O IAPfc não considera a taxa de mortalidade no cálculo das perdas. Em regiões muito quentes com ocorrência de temperaturas muito altas, que não podem ser compensadas pelo sistema de resfriamento, a taxa de mortalidade pode tornar a criação em alta densidade inviável.

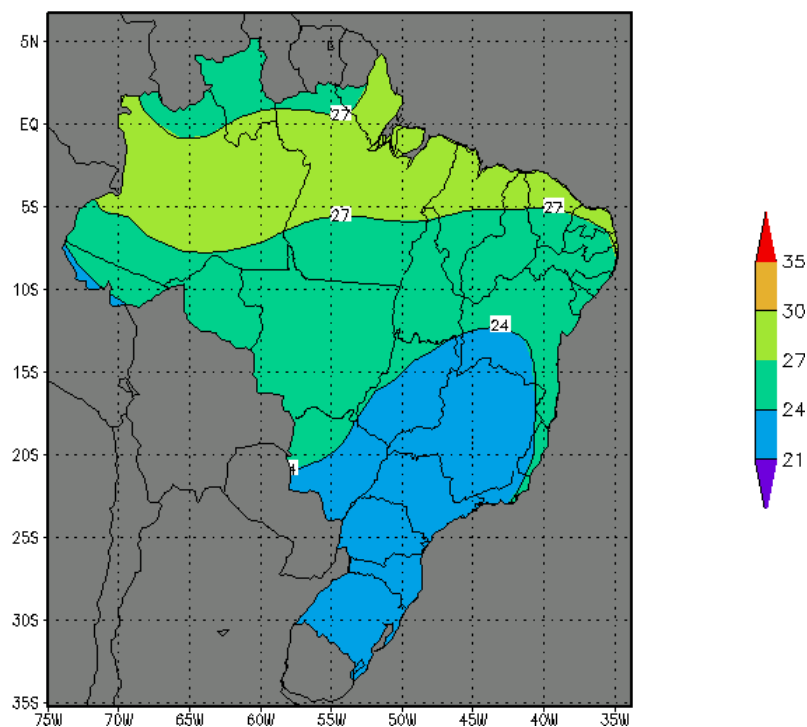


Figura 15: Valor do IAPfc dentro de uma instalação com RAE em julho.

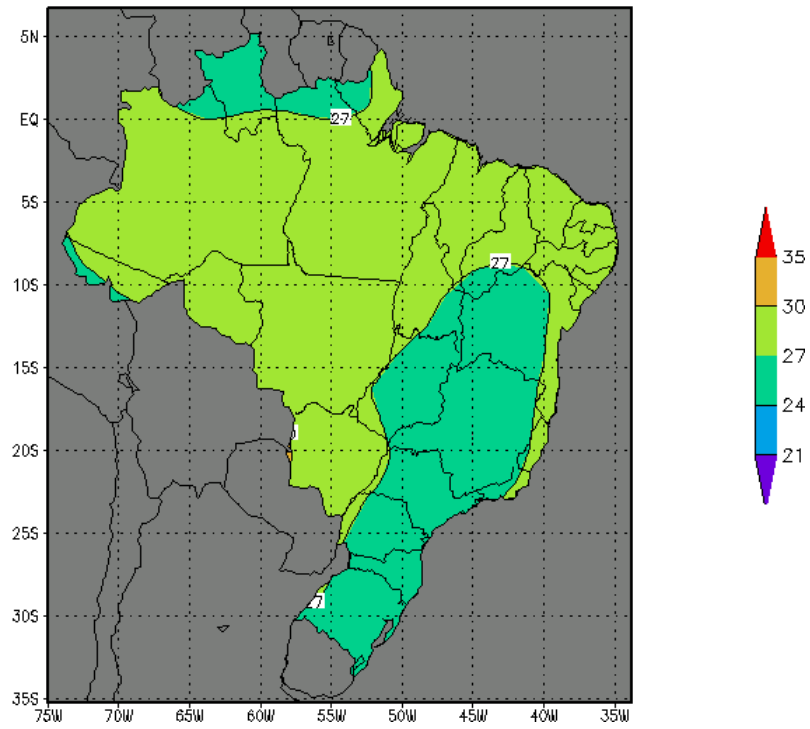


Figura 16: Valor do IAPfc dentro de uma instalação com RAE em janeiro.

4.2. atlas bioclimatológico do Brasil - Com ênfase em avicultura

4.2.1. Introdução

Esse trabalho tem como objetivo servir de referência para estudantes, pesquisadores e produtores rurais sobre as características gerais das condições bioclimáticas do Brasil. Preocupação especial foi dada a produção de frangos de corte com dados referentes a simulação em computador de um galpão avícola para obtenção das condições térmicas internas a partir de dados climáticos externos.

Foram utilizados dados climáticos de duas fontes

- UEA/CRU (Universit East Anglia / Climatic Research Unit)
New CRU05 climatology 1961-1990 (NEW et al., 1999)
- Re-análises 2 do NCEP(National Centers for Environmental Prediction)/NCAR(The National Center for Atmospheric Research) (KANAMITSU et al., 2002)

Os dados fornecidos pelo UEA/CRU foram usados nos seguintes conjuntos de mapas:

- Temperatura
 - ◆ Temperatura média (C°)
 - ◆ Temperatura Mínima(C°) (valores que em média ocorrem no mês)
 - ◆ Temperatura máxima(C°) (valores que em média ocorrem no mês)
 - ◆ Amplitude Térmica (C°)
- Umidade Relativa (%)
- Velocidade do Vento a 10 metros (m/s)
- Média Diária de Chuva (mm)

- ITU - média do mês

Os dados fornecidos pelo NCEP/NCAR foram usados nos seguintes conjuntos de mapas:

- ITU - média entre as 09 horas e 15 horas
- Dados de Simulação
 - ◆ Número de horas vezes o número de graus C a menos no interior de uma instalação com sistema de resfriamento em comparação com uma sem sistema de resfriamento. (C° x Horas)
 - ◆ ITU - média entre as 09 horas e 15 horas dentro de uma instalação com resfriamento.
 - ◆ IAPfc dentro de uma instalação com resfriamento.

A geração dos mapas foi feita usando-se o Grid Analysis and Display System. Sendo usada a projeção Eqüidistante Cilíndrica ("Plate-Carrée") também chamada de projeção equiretangular.

4.2.2. Temperatura

Conforme McDOWELL (1974), a temperatura do ar é provavelmente o fator bioclimático que mais impacto tem no ambiente físico do animal.

Existem limites para o intervalo de temperaturas para os quais os animais vertebrados podem manter sua homeotermia. A zona de termoneutralidade no intervalo de homeotermia é muito difícil de se definir. Nesse intervalo os vasos sanguíneos na pele não estão totalmente dilatados ou totalmente contraídos, a evaporação de água da superfície da pele ou do sistema respiratório é mínima, os cabelos ou pelos ou penas não estão eretos e as respostas comportamentais ao calor ou frio não ocorrem. O intervalo de temperaturas superior e inferior que os animais podem tolerar fora da faixa da zona de termoneutralidade é muito reduzido (BROWN-BRANDL et al., 1997).

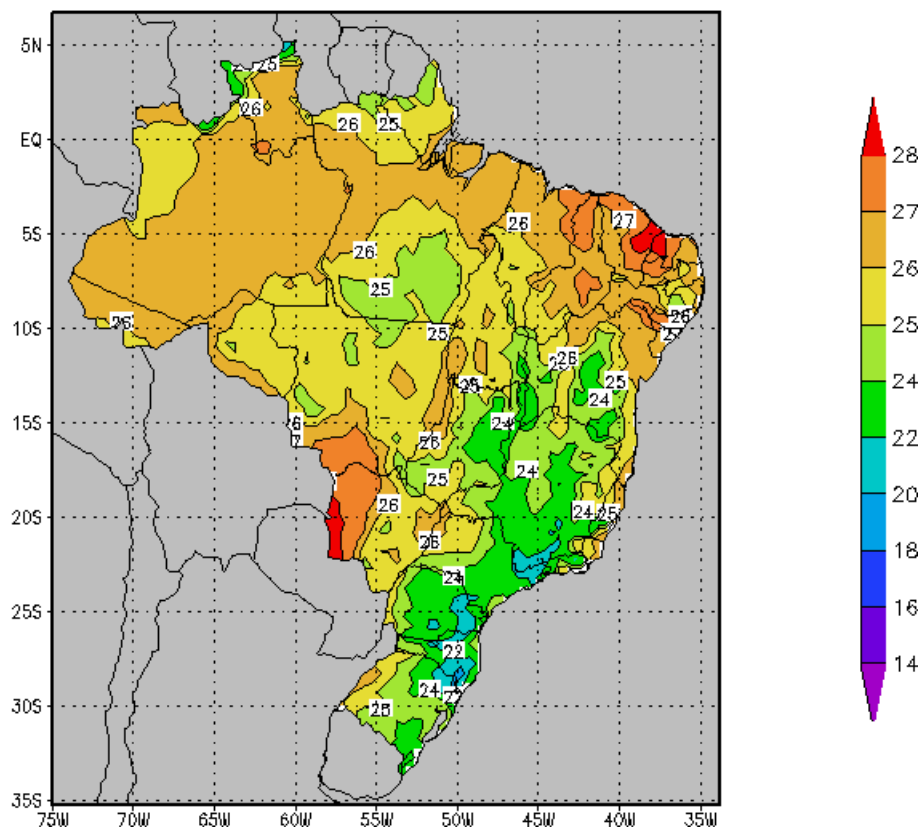
Quando as temperaturas são baixas, aumenta a proporção de carcaças com calos e crostas no peito devido a má conservação da cama. Em contrapartida, há maior incidência de ferimentos decorrentes do manejo das aves nos meses de verão, atribuída a ruptura de vasos sanguíneos e capilares periféricos, devido a vasodilatação. Em épocas quentes, as aves reduzem a ingestão de ração e, por conseqüência, a quantidade de energia ingerida. Os formuladores de ração, para conseguir aumentar as calorias da mesma e diminuir esse déficit, podem incrementar a proporção de energia. Porém, estas modificações na dieta alimentar podem contribuir com a incidência de problemas de gordura na carcaça (ABREU & ABREU, 2002).

COOPER & WASHBURN (1998), comparando a mortalidade em frangos criados às temperaturas de 21°C e 31°C não verificaram diferença significativa, mas um aumento grande na mortalidade foi verificado por VO et al. (1977) quando a temperatura ambiente atingiu 37,8°C. Segundo

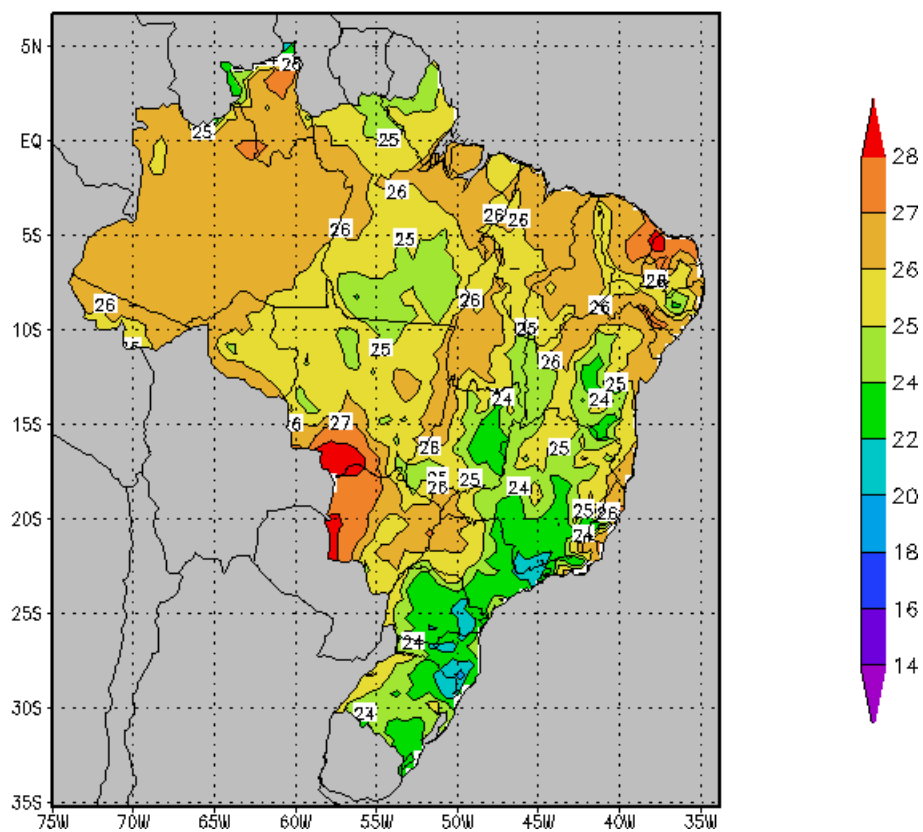
COOPER & WASHBURN (1998) quando frangos são expostos a estresse calórico durante um período maior que uma semana os aspectos econômicos estão relacionados negativamente com a temperatura corporal do animal, quanto mais alta pior são os índices como ganho de peso, consumo de ração e conversão alimentar.

4.2.2.1 Temperatura média (C°)

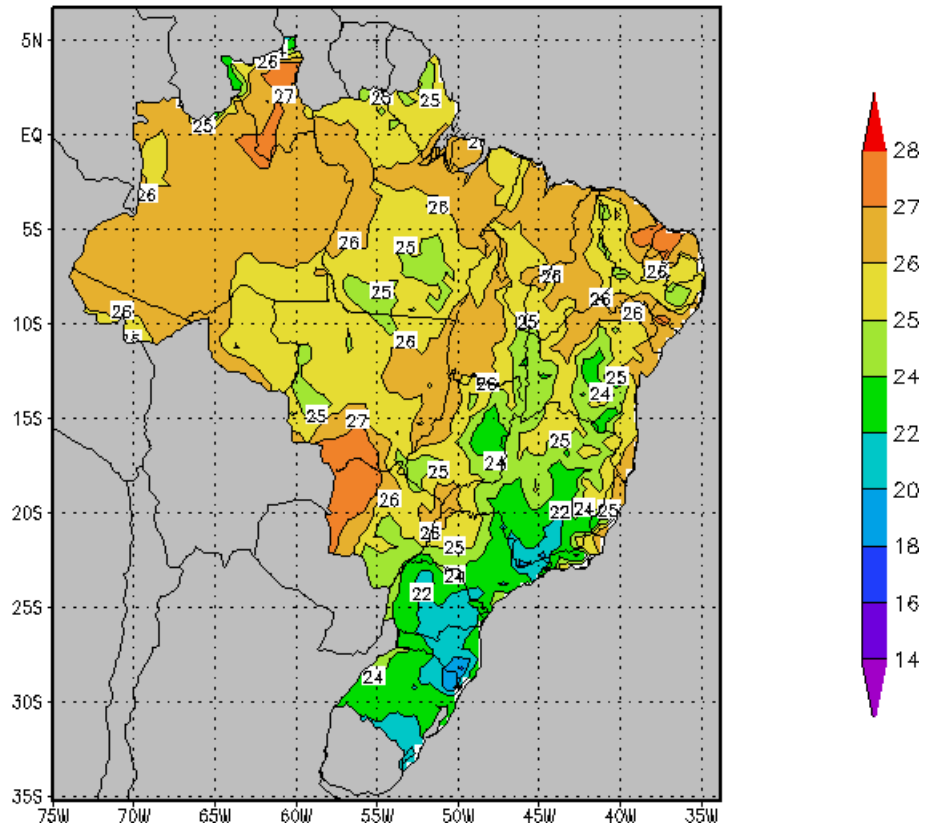
JANEIRO



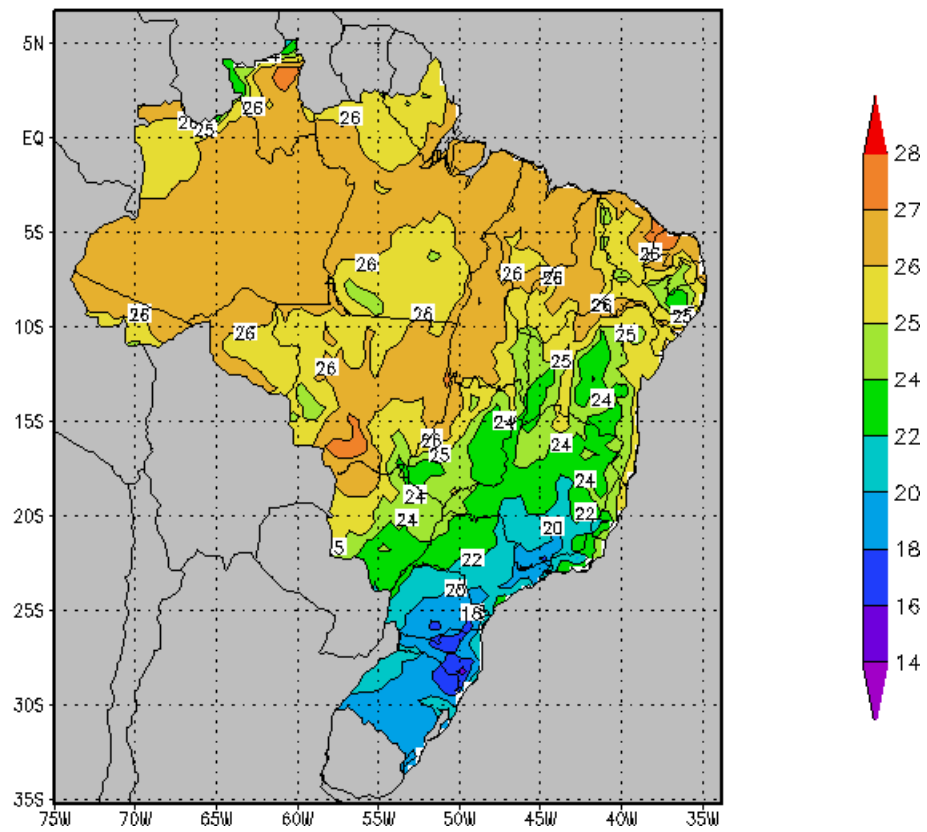
FEVEREIRO



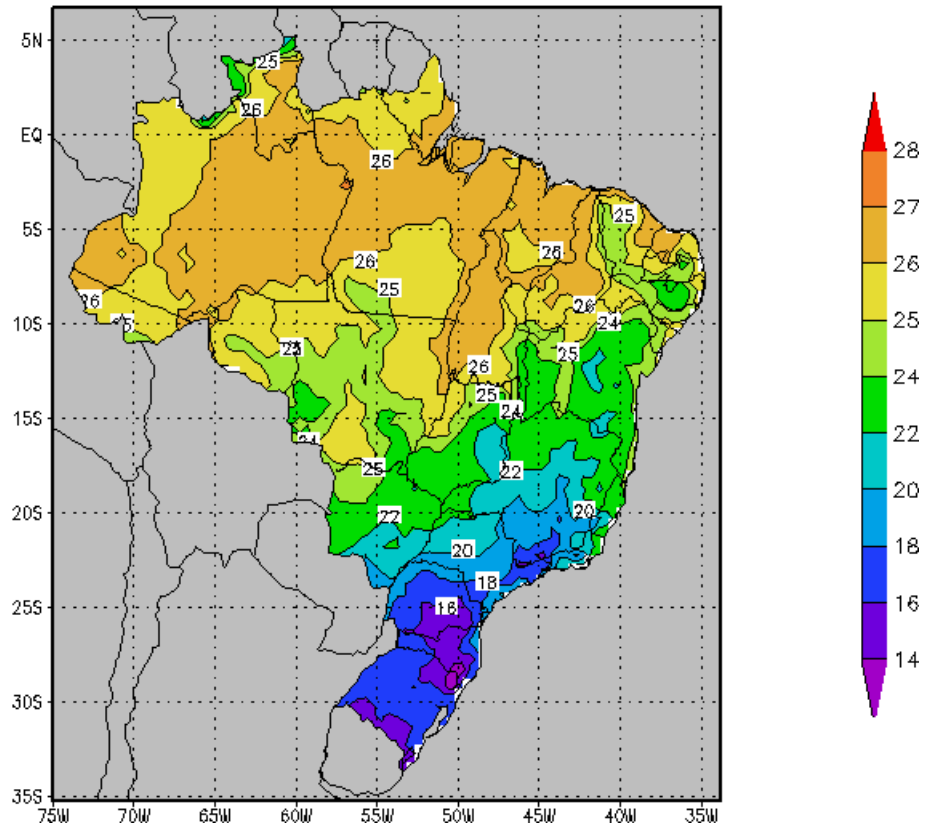
MARÇO



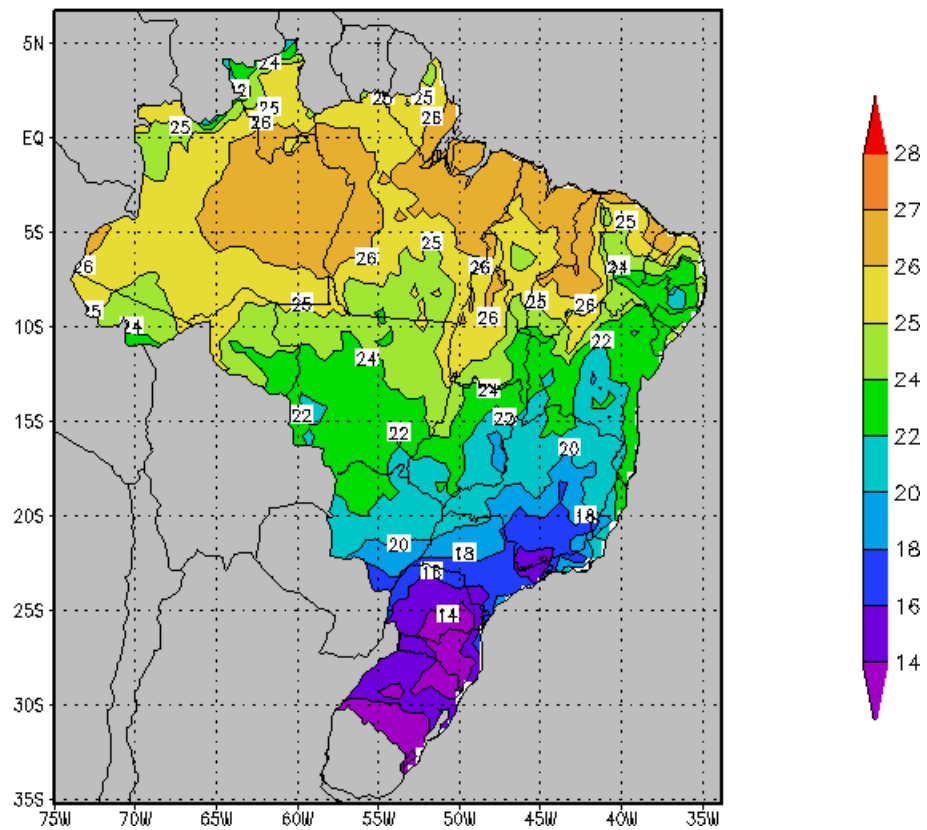
ABRIL



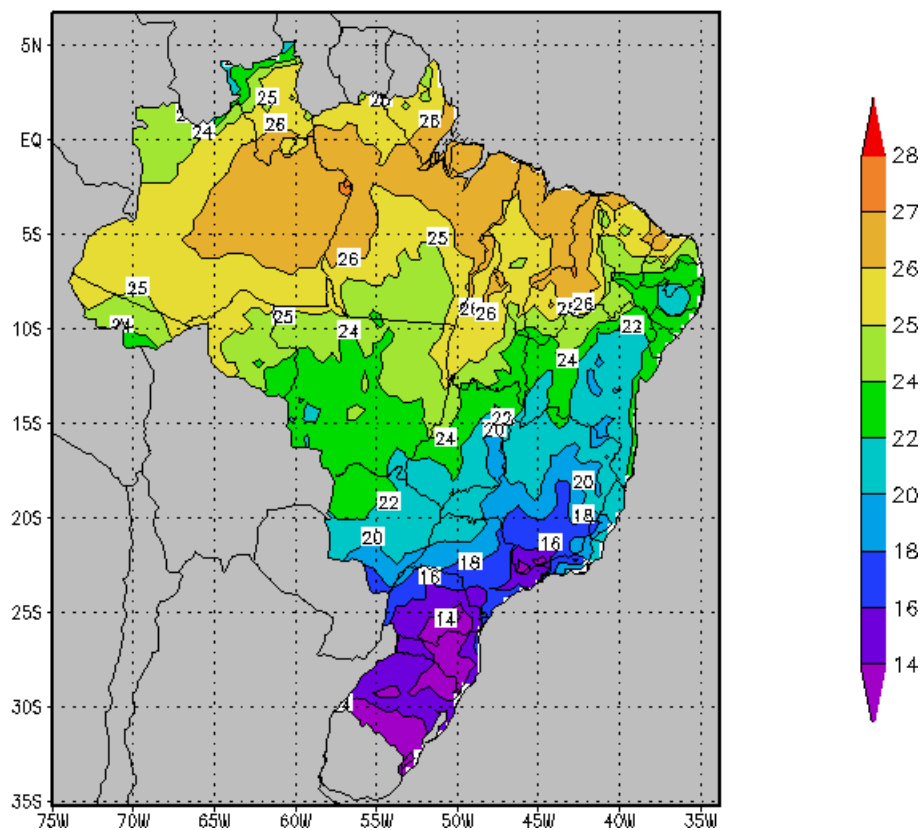
MAIO



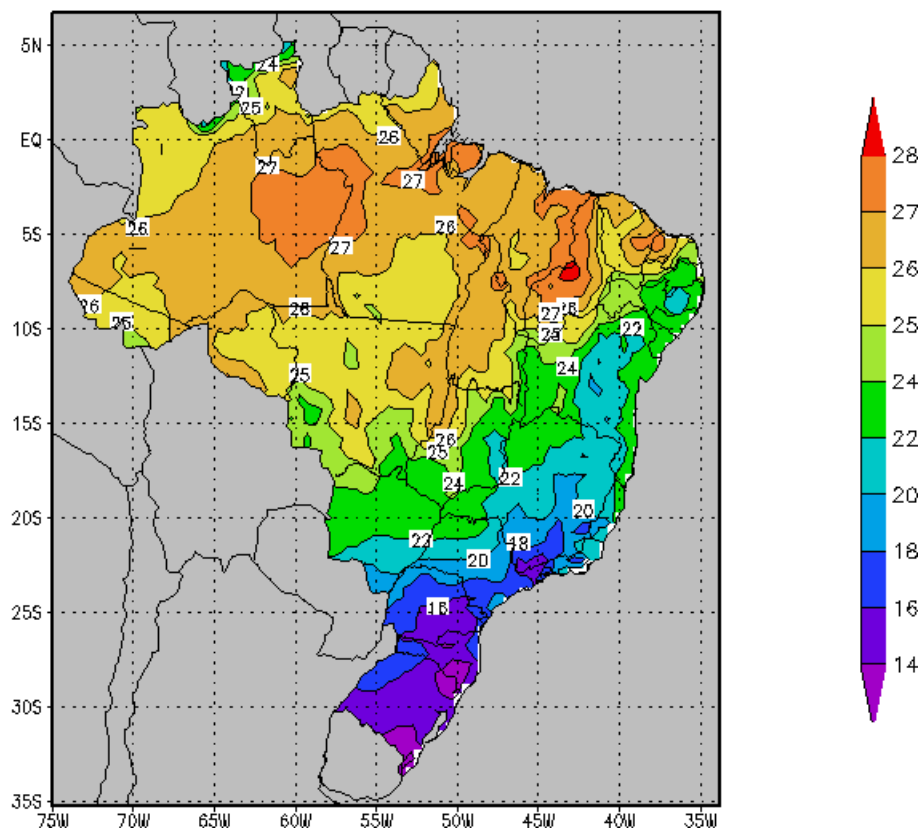
JUNHO



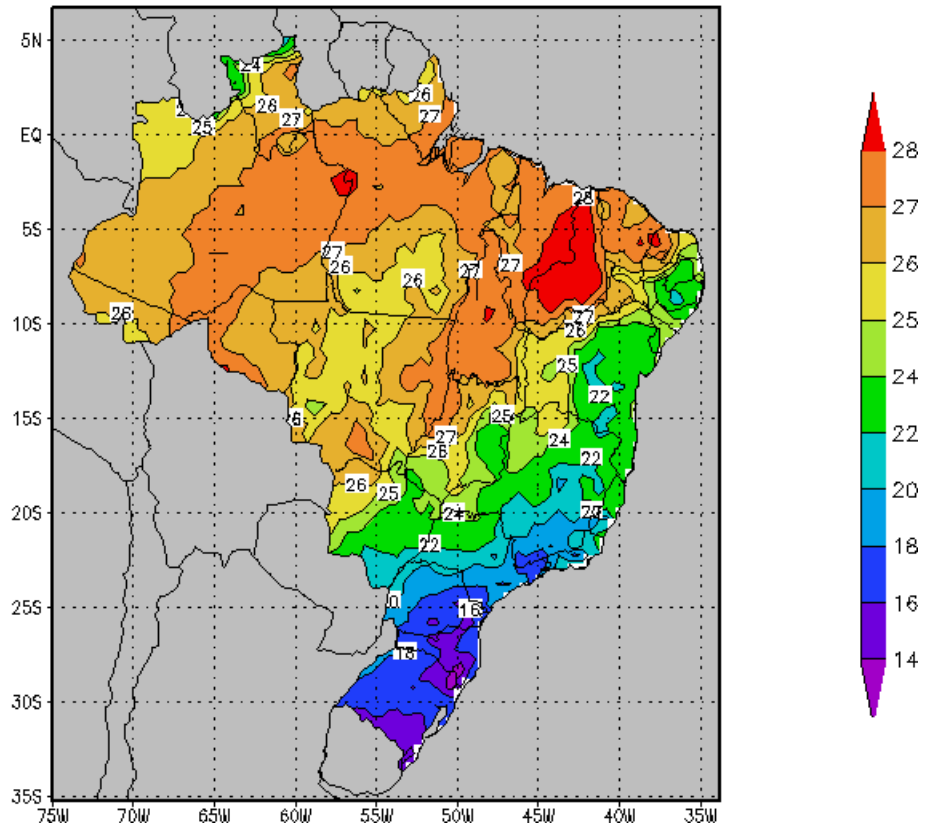
JULHO



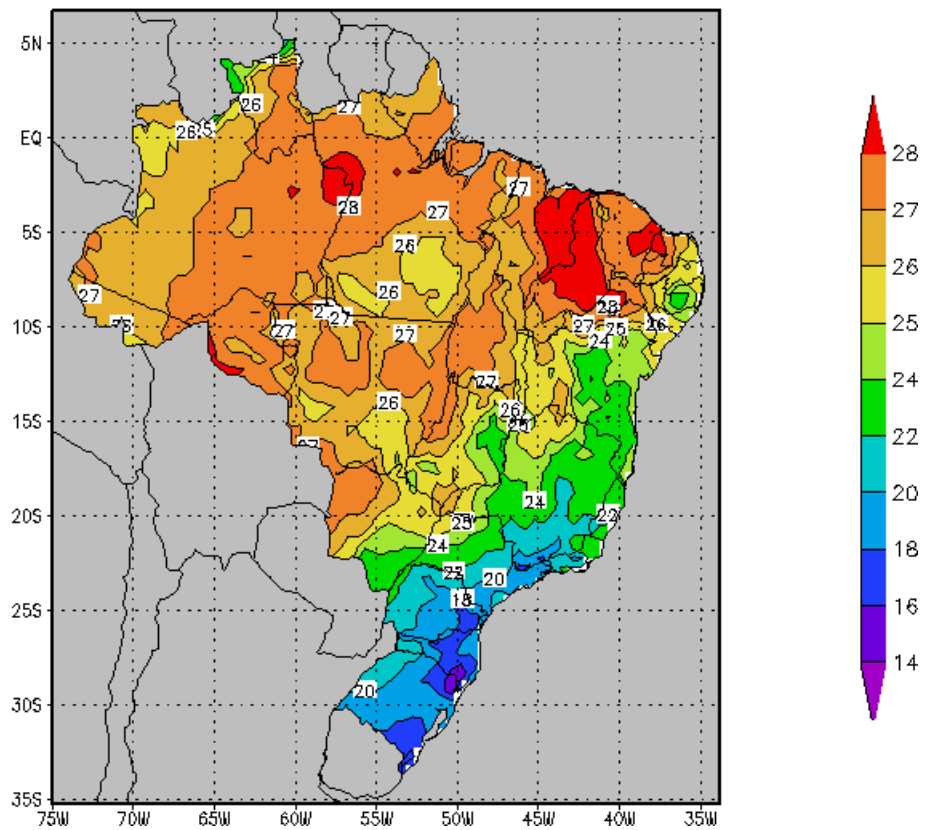
AGOSTO



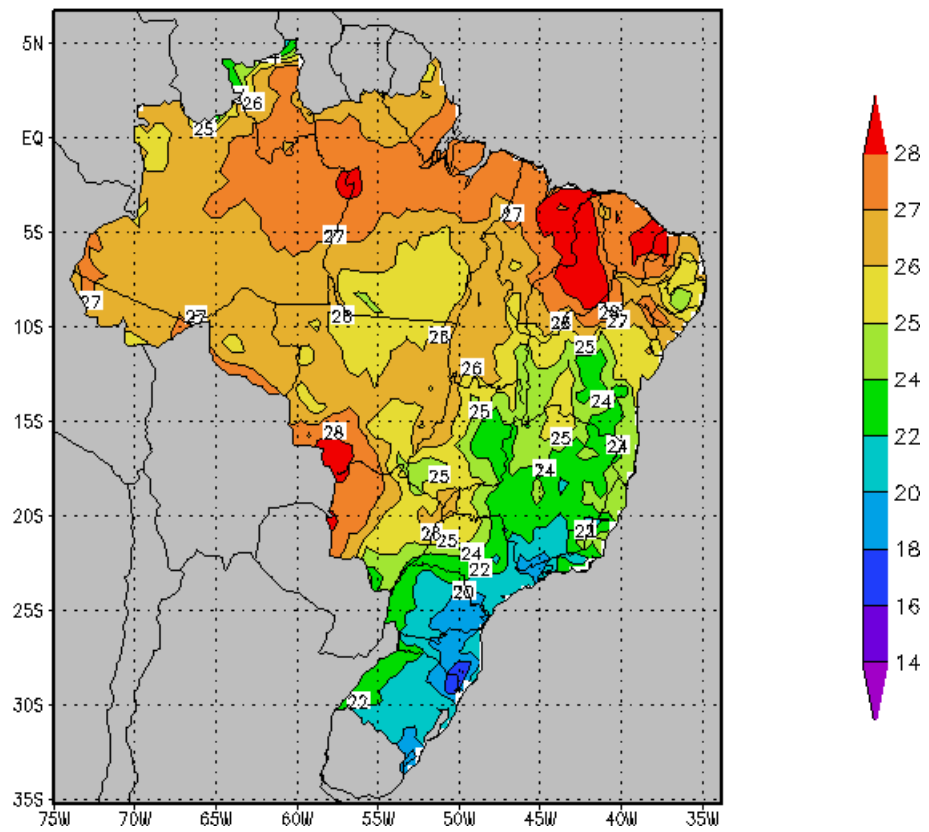
SETEMBRO



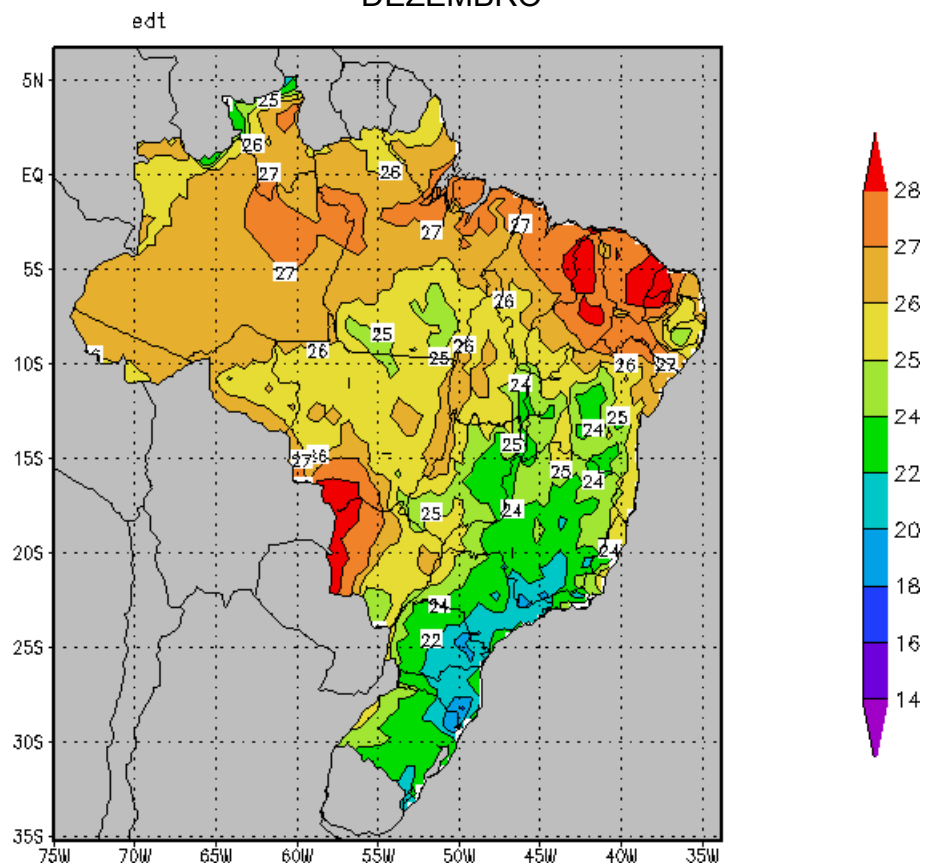
OUTUBRO



NOVEMBRO

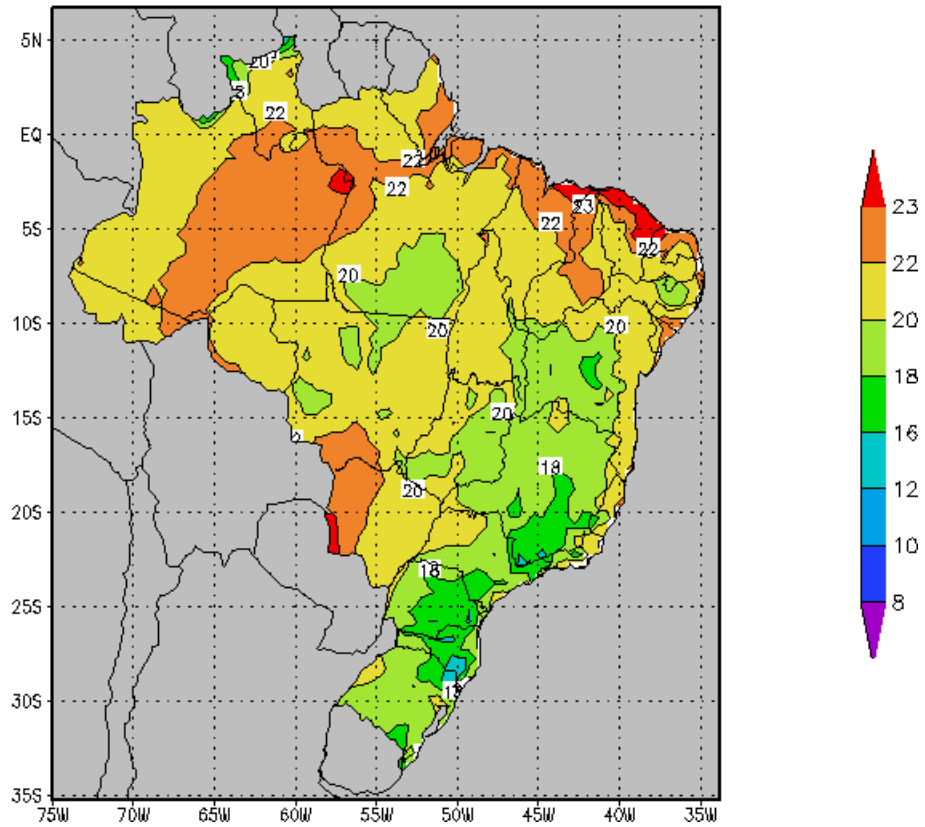


DEZEMBRO

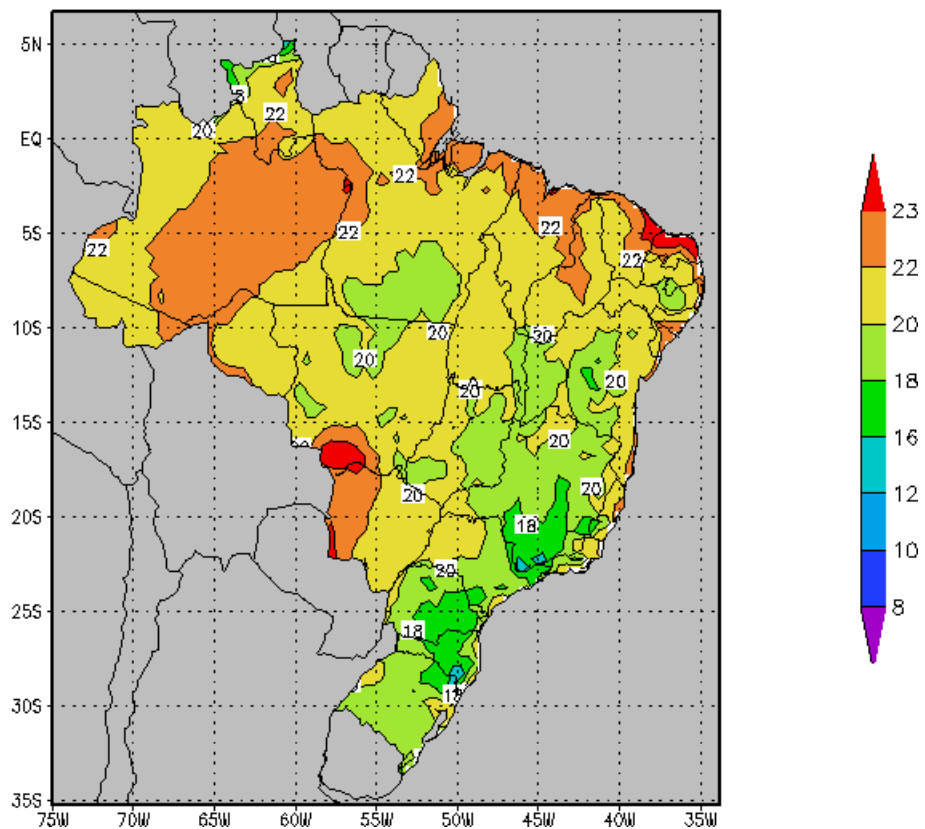


4.2.2.2 Temperatura Mínima(C°)(valores que em média ocorrem no mês)

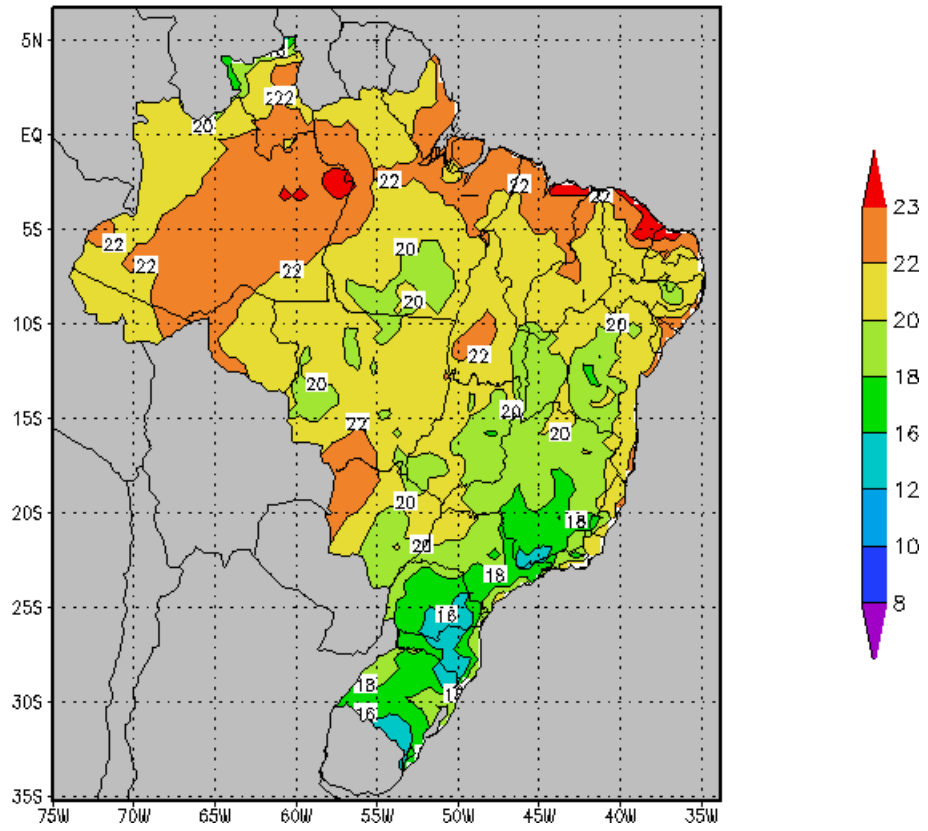
JANEIRO



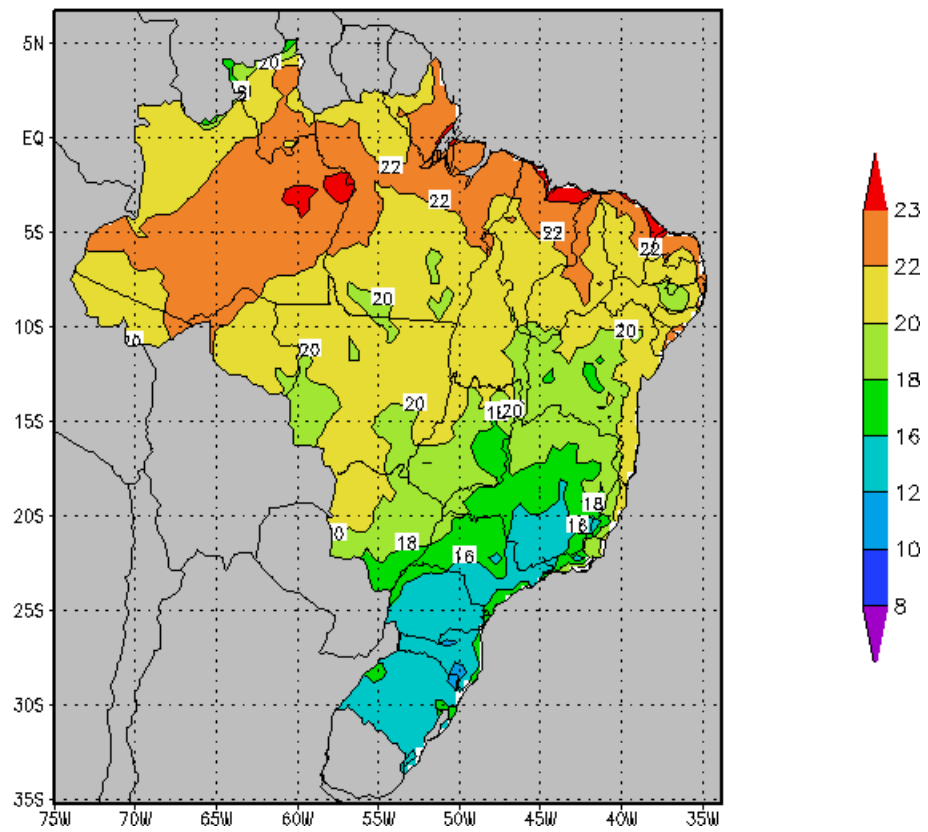
FEVEREIRO



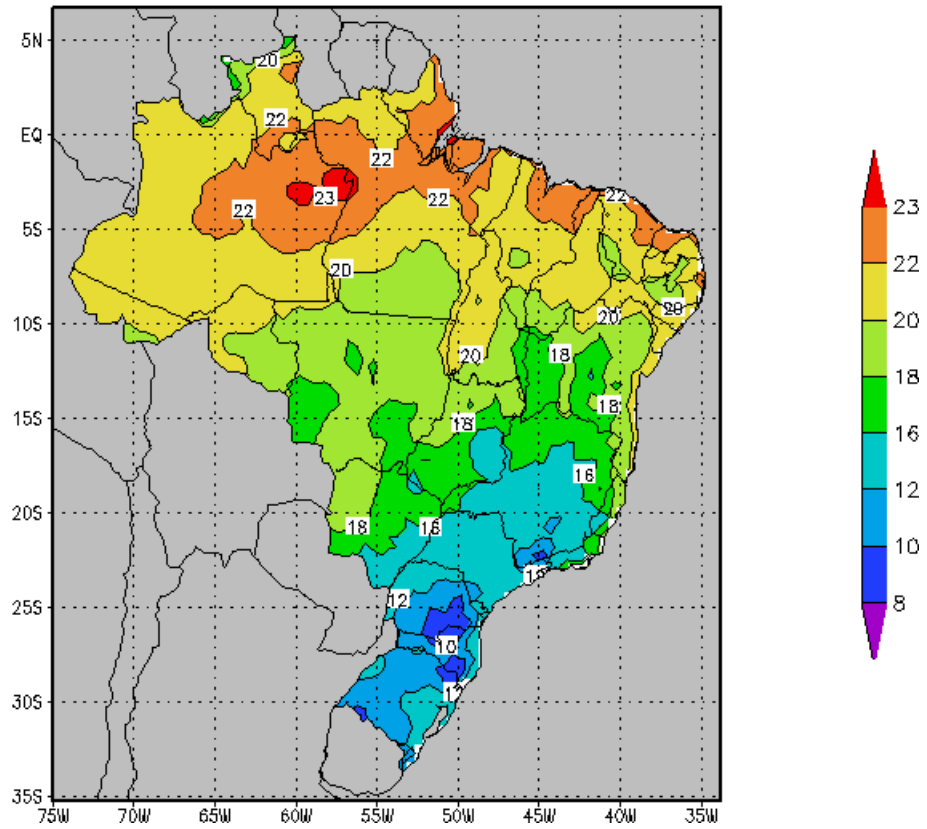
MARÇO



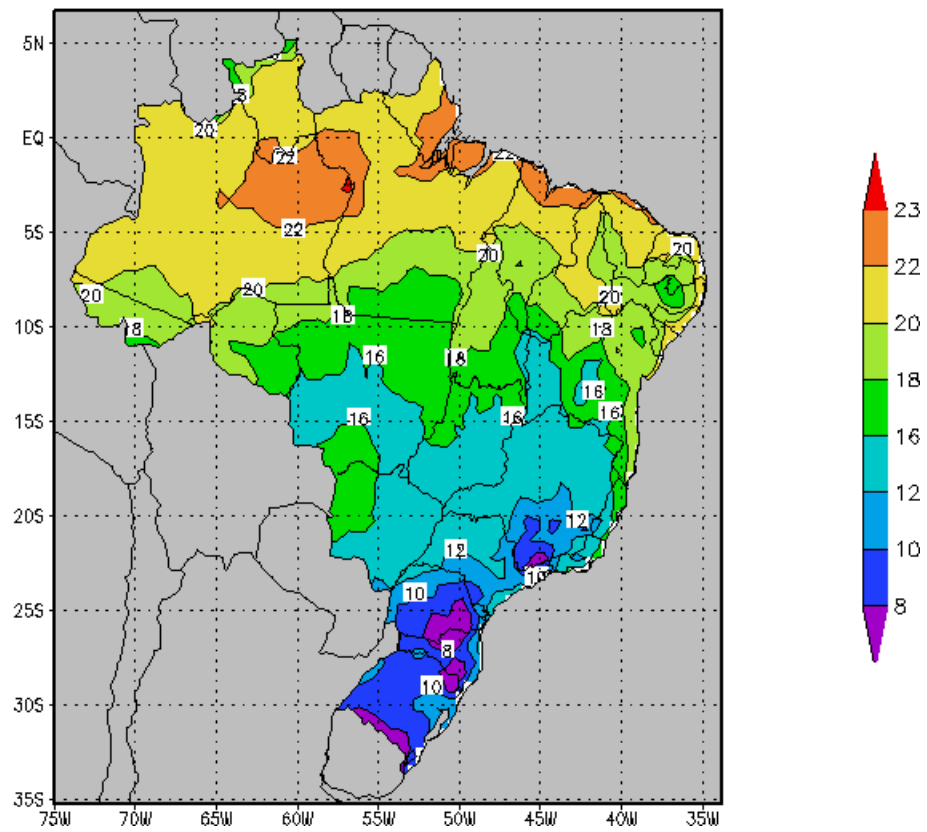
ABRIL



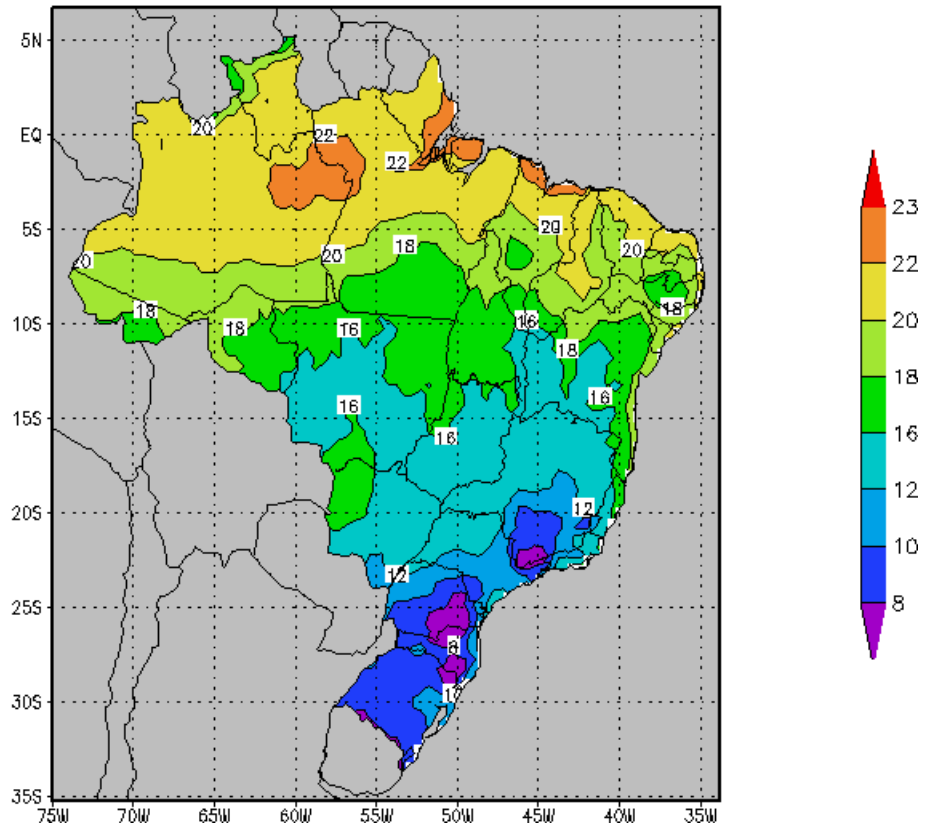
MAIO



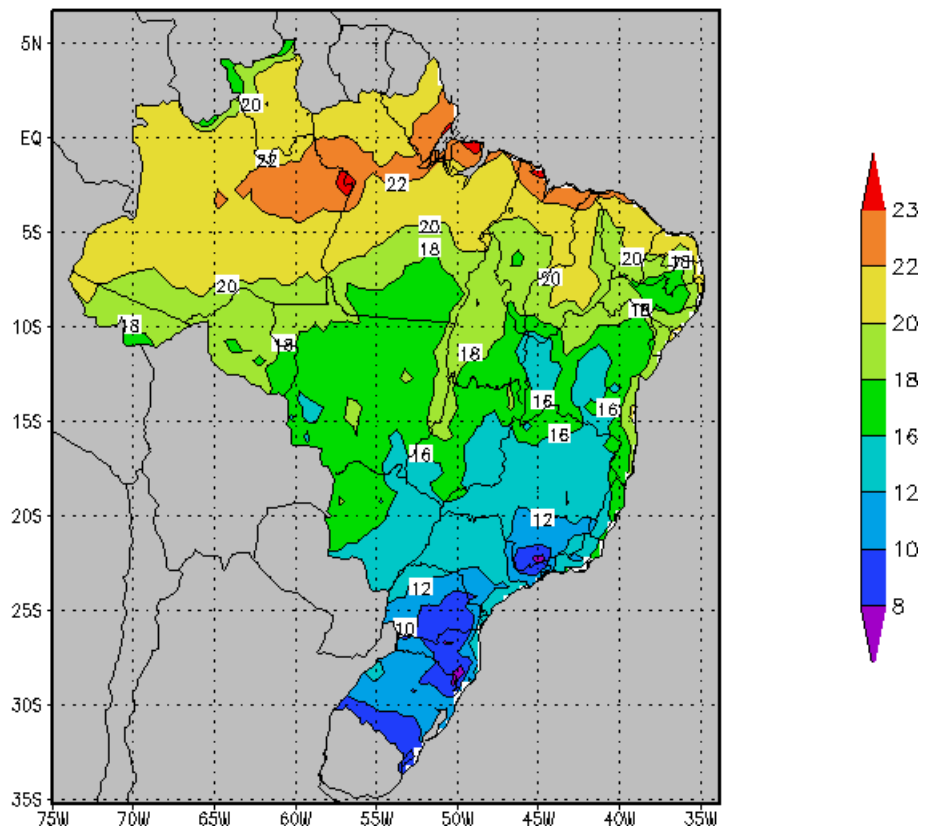
JUNHO



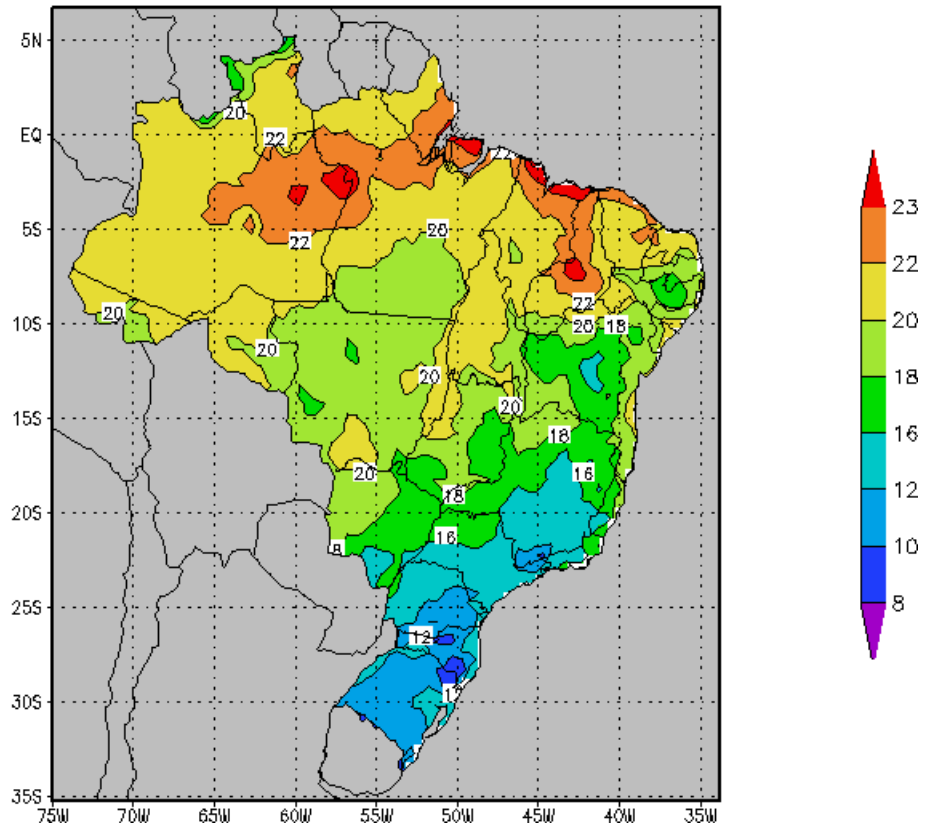
JULHO



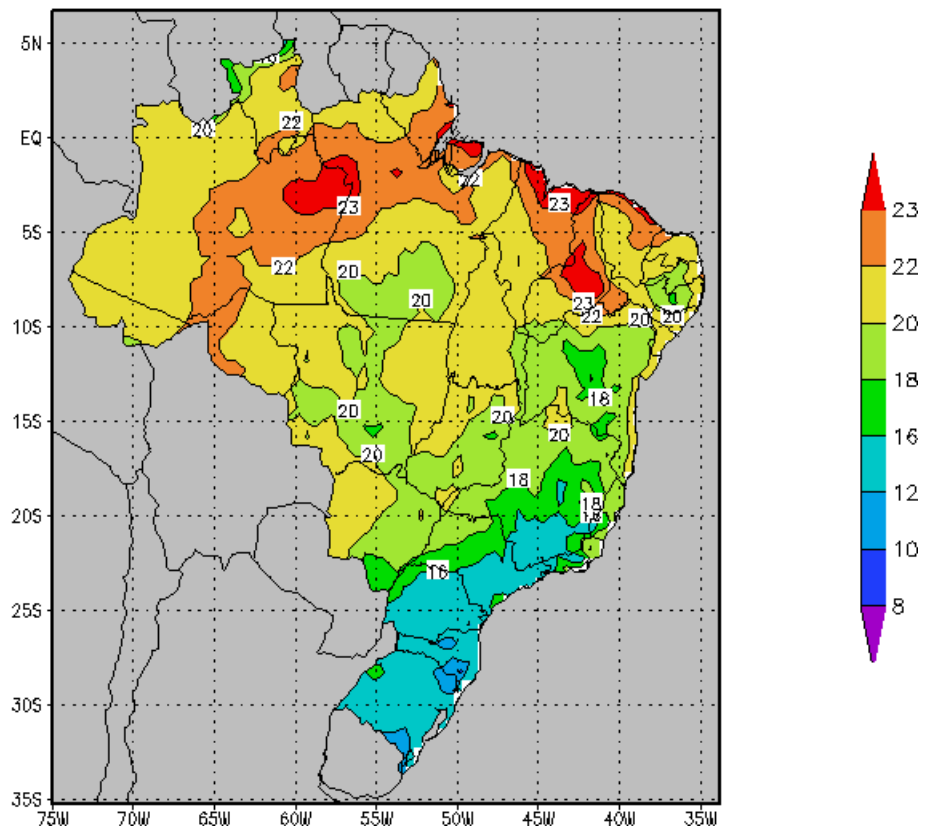
AGOSTO



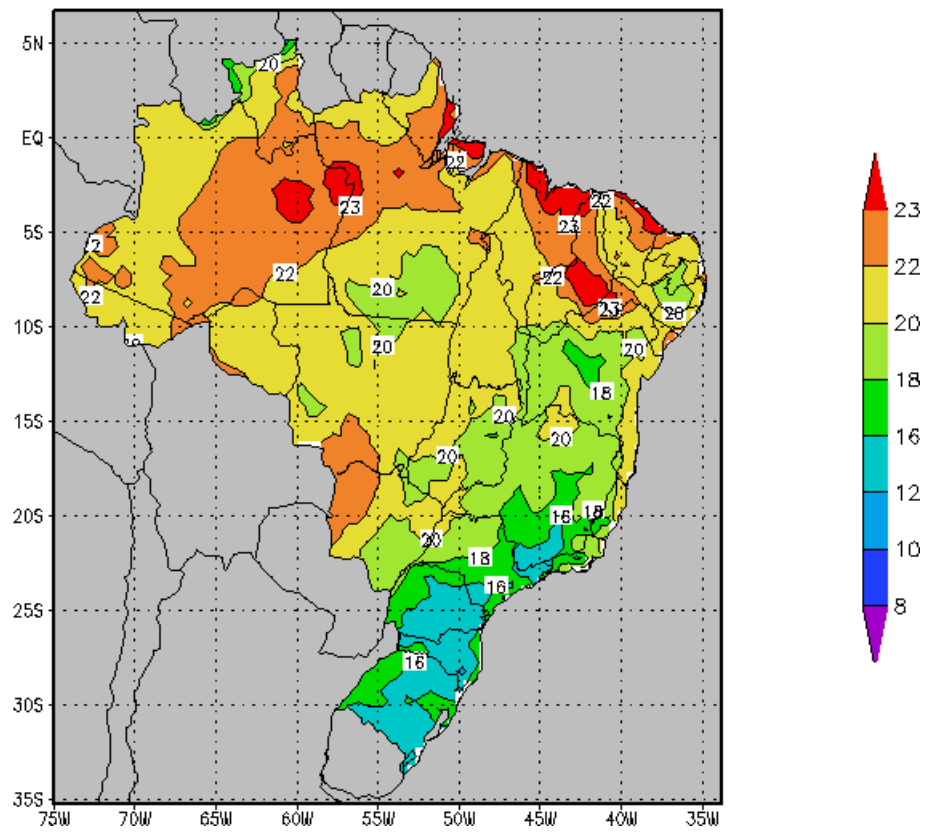
SETEMBRO



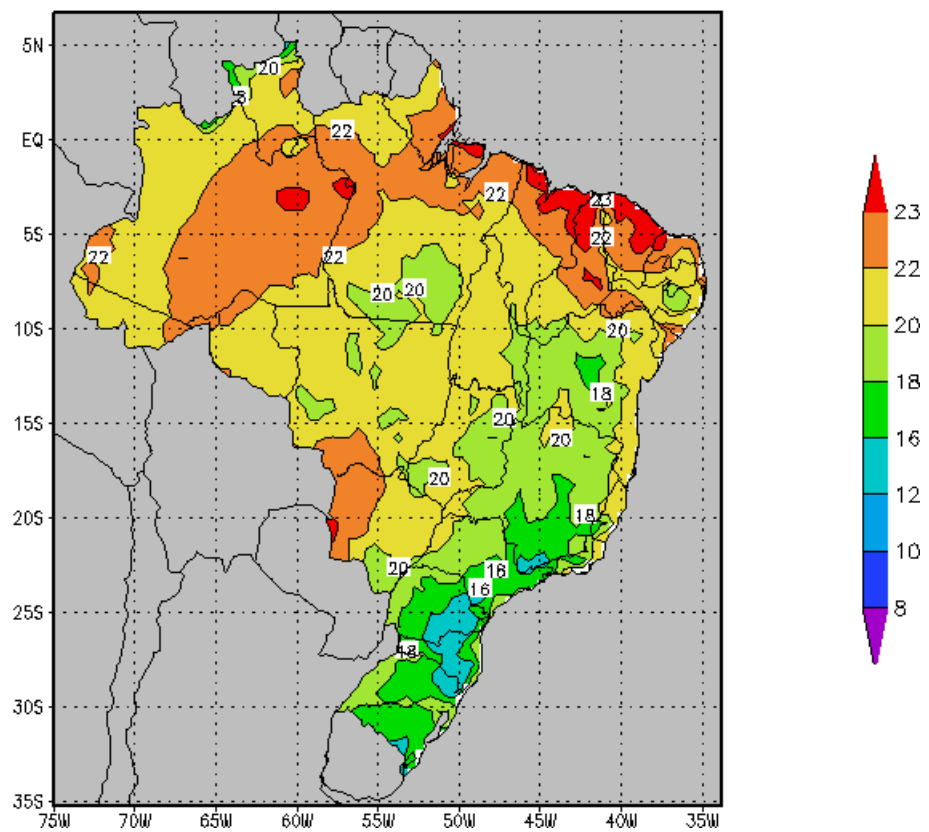
OUTUBRO



NOVEMBRO

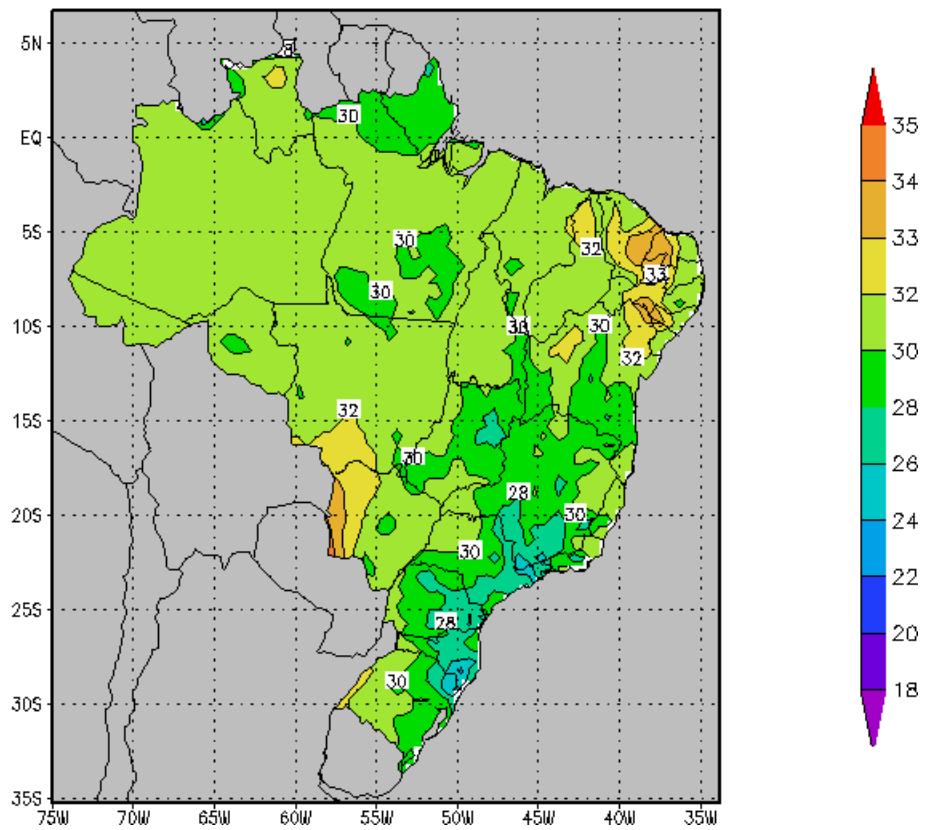


DEZEMBRO

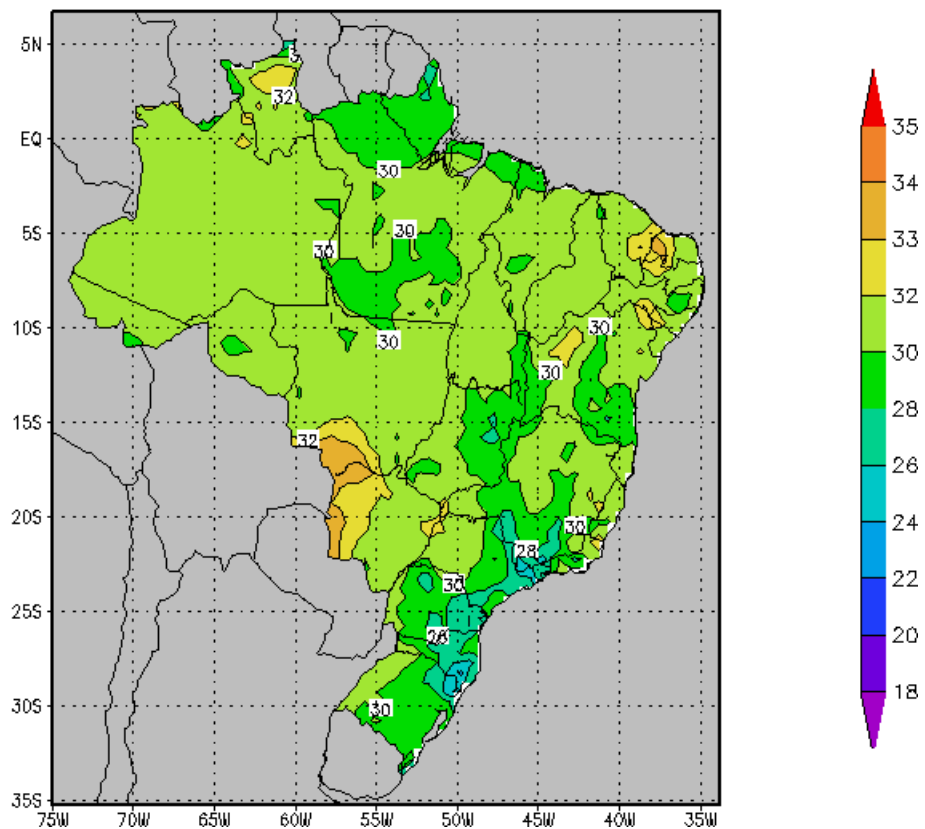


4.2.2.3 Temperatura máxima(C°) (valores que em média ocorrem no mês)

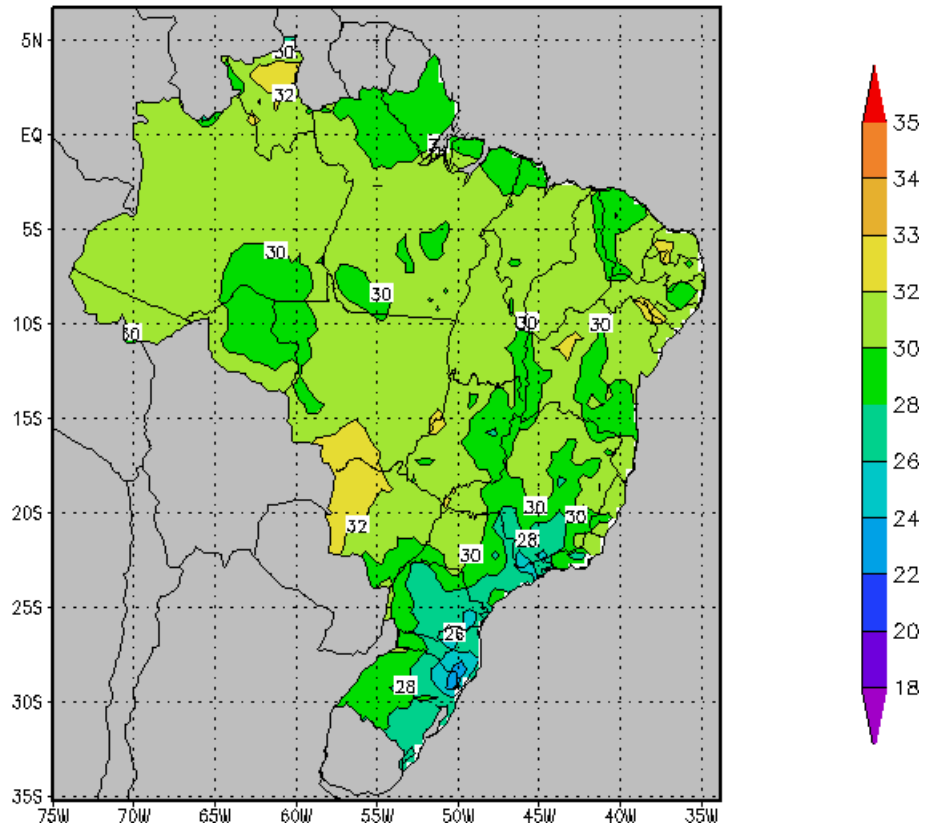
JANEIRO



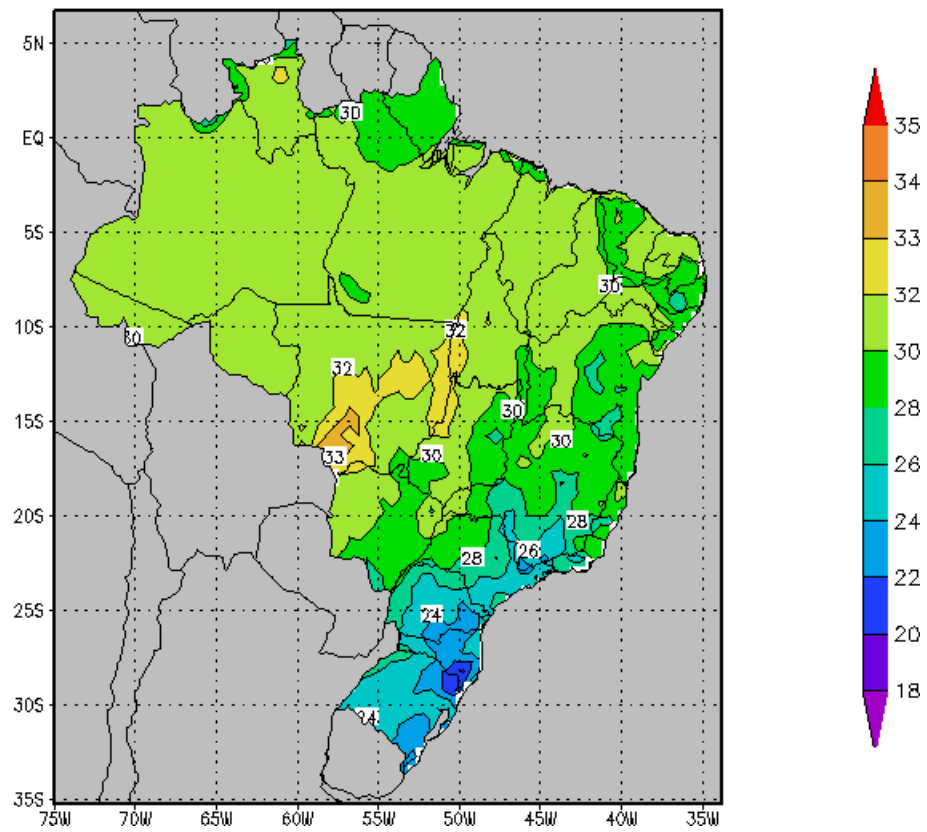
FEVEREIRO



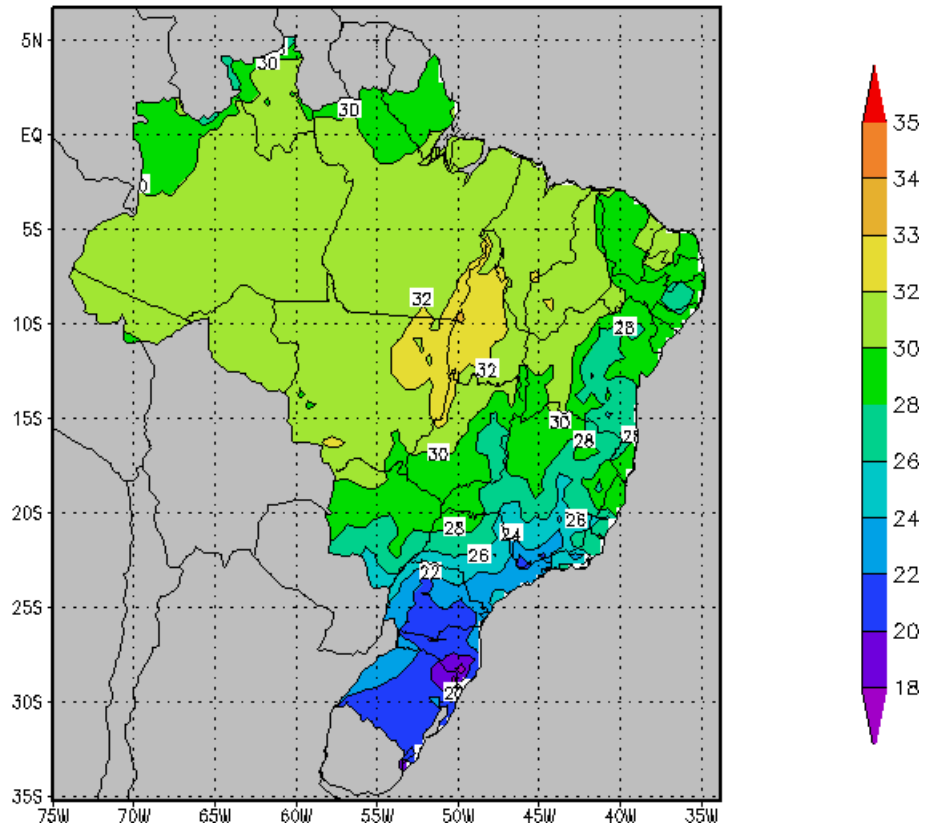
MARÇO



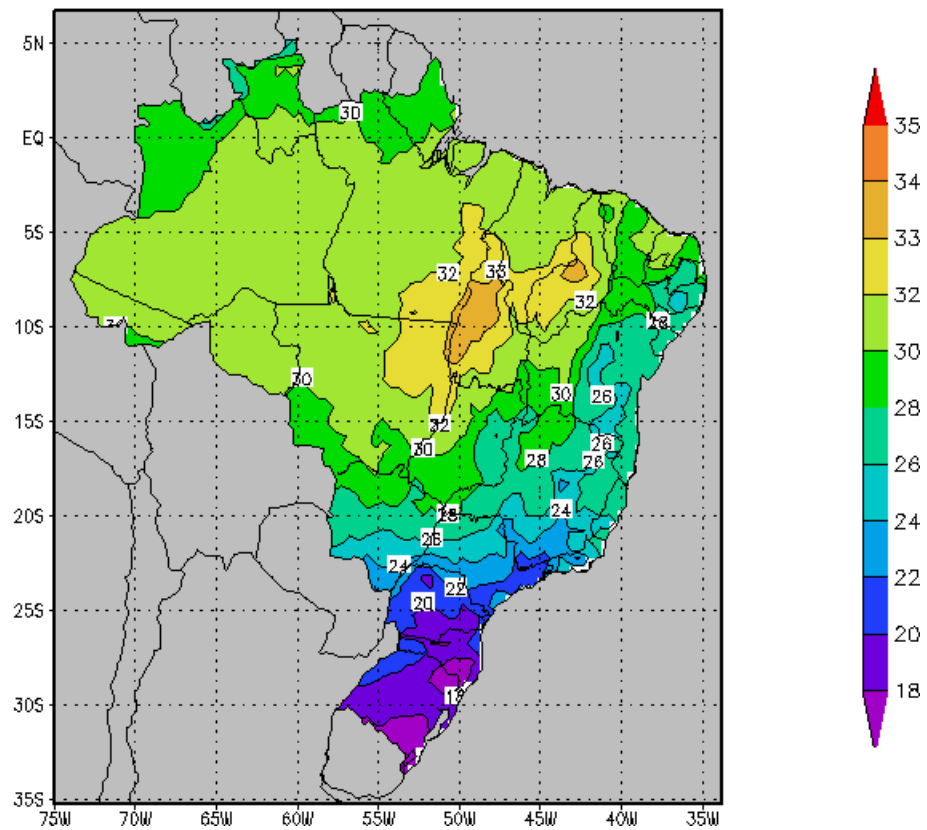
ABRIL



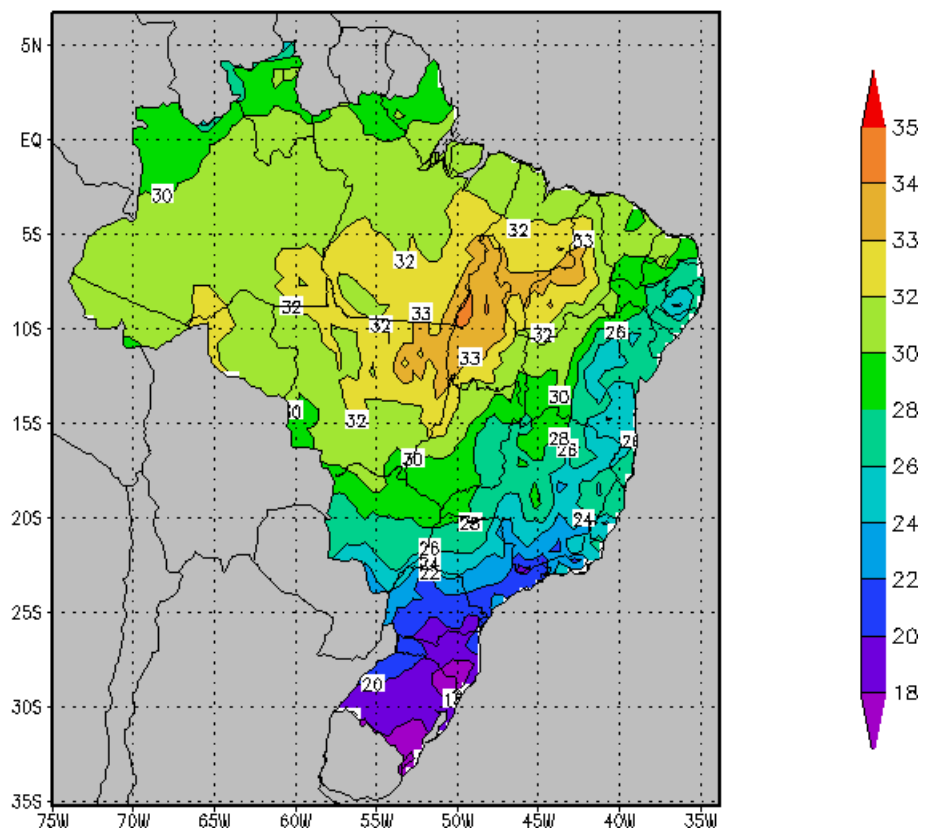
MAIO



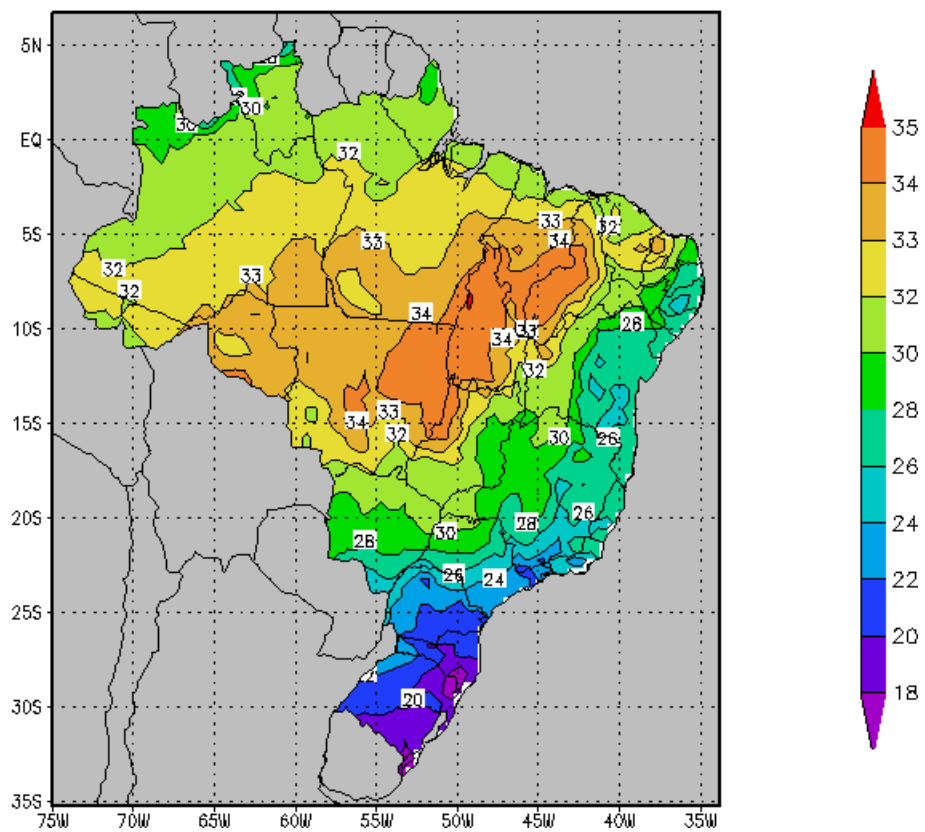
JUNHO



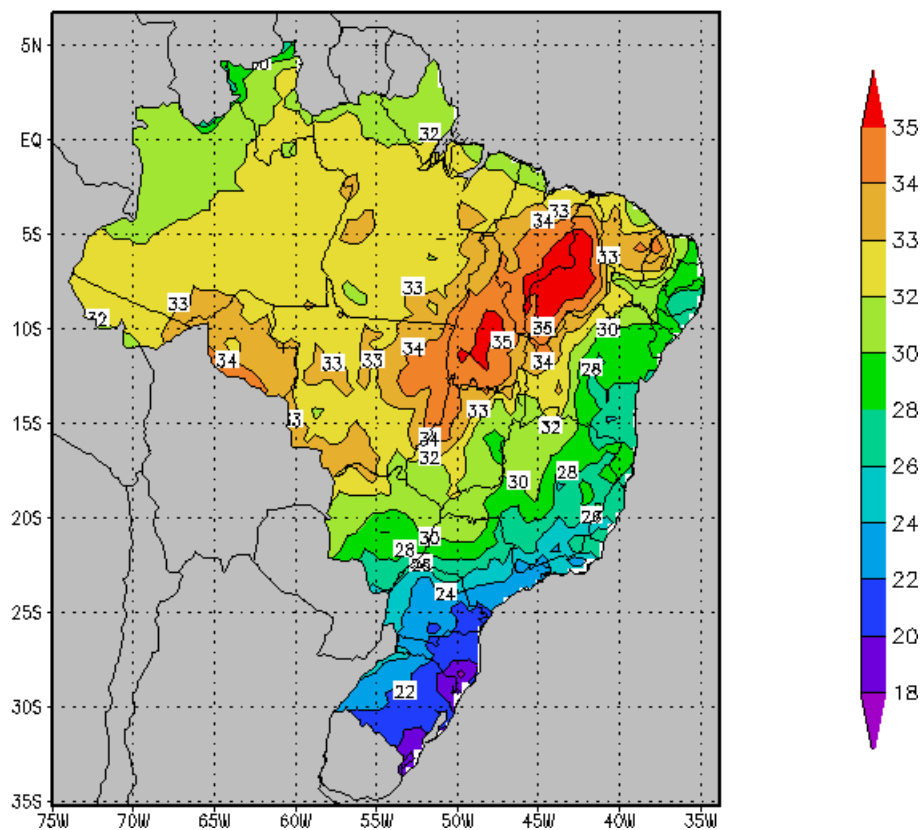
JULHO



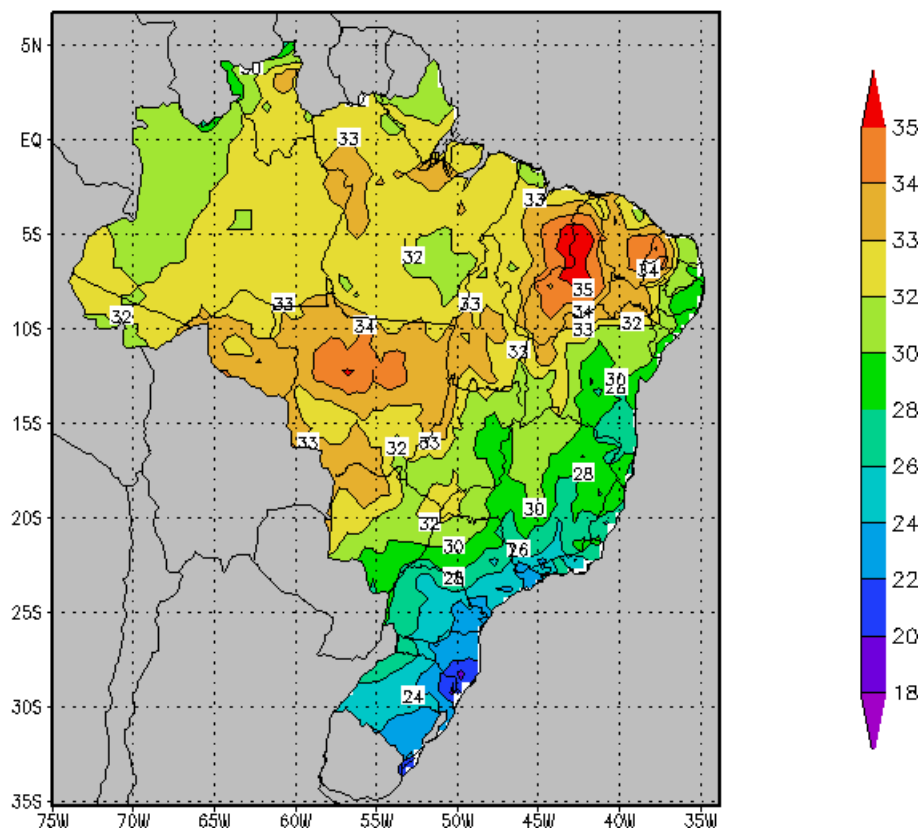
AGOSTO



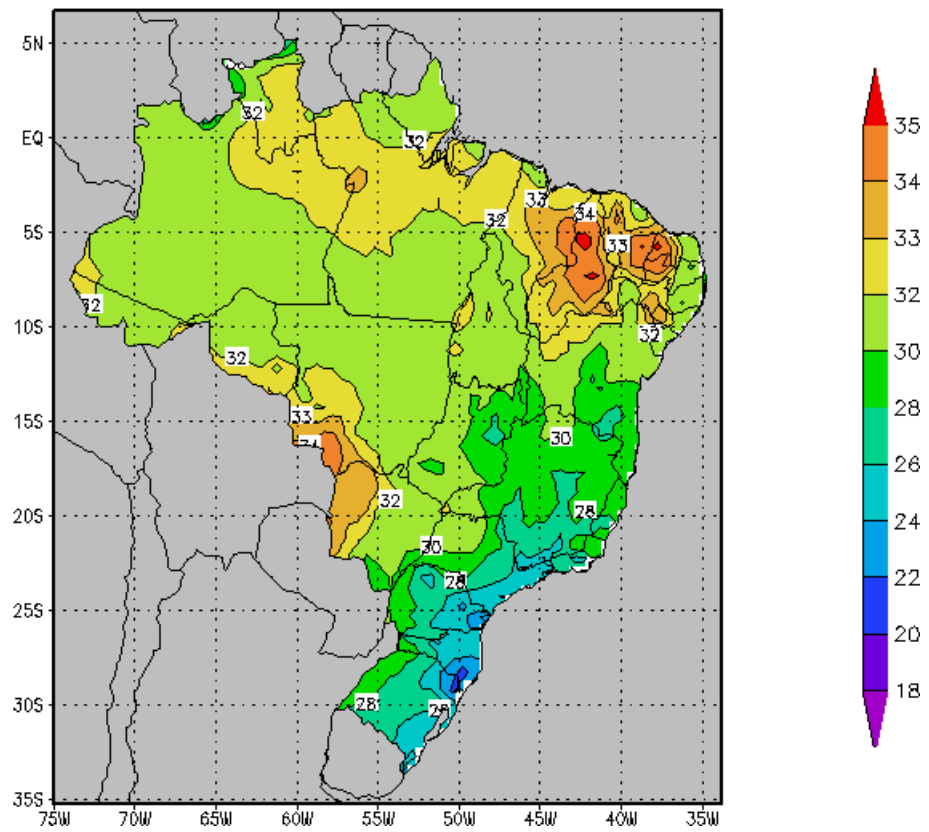
SETEMBRO



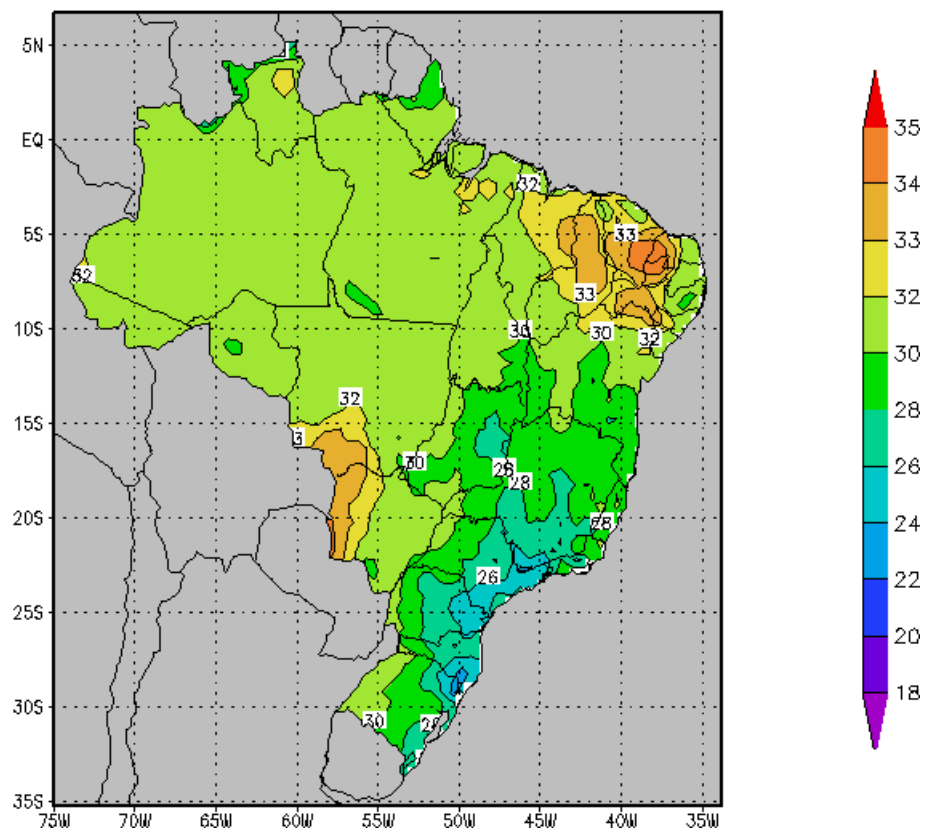
OUTUBRO



NOVEMBRO

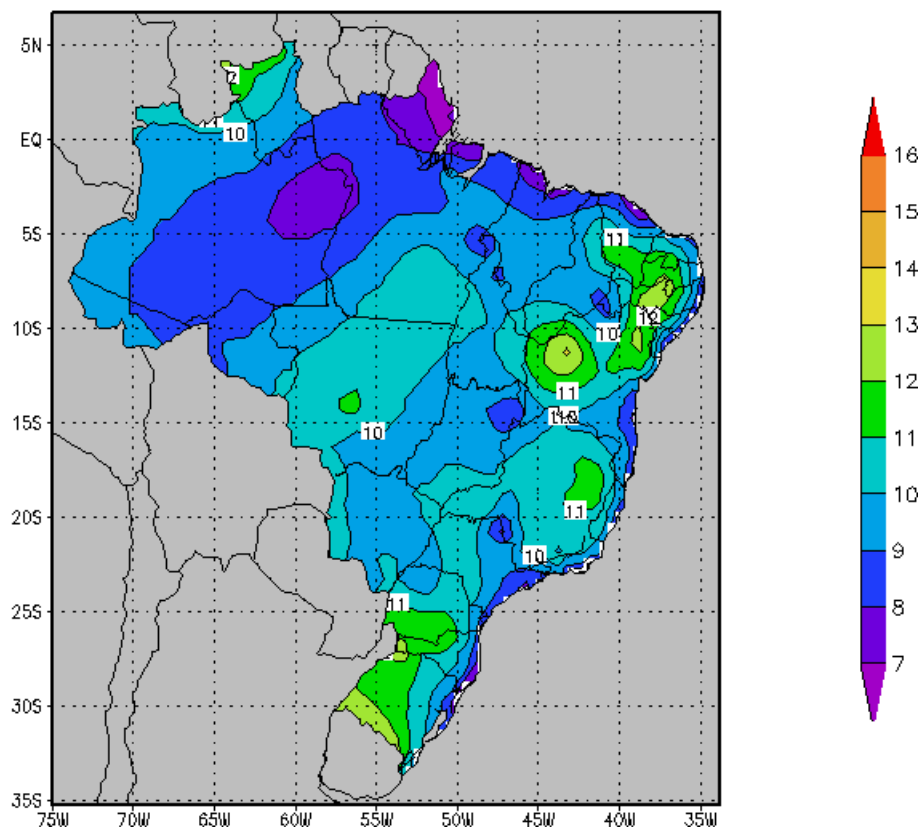


DEZEMBRO

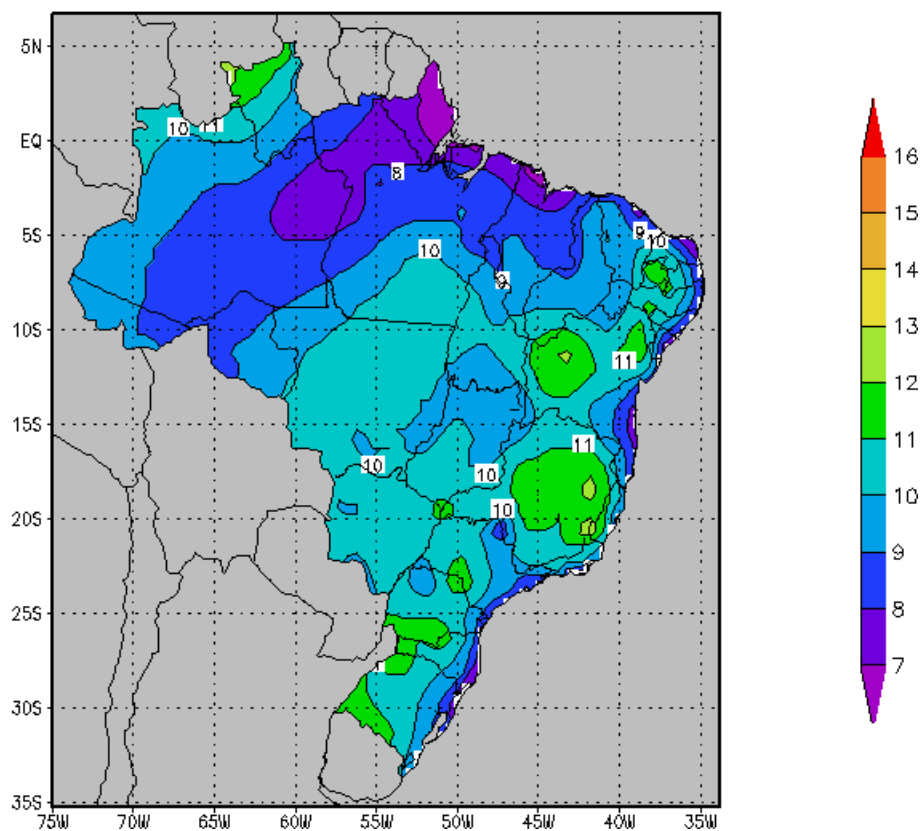


4.2.2.4 Amplitude Térmica média (C°)

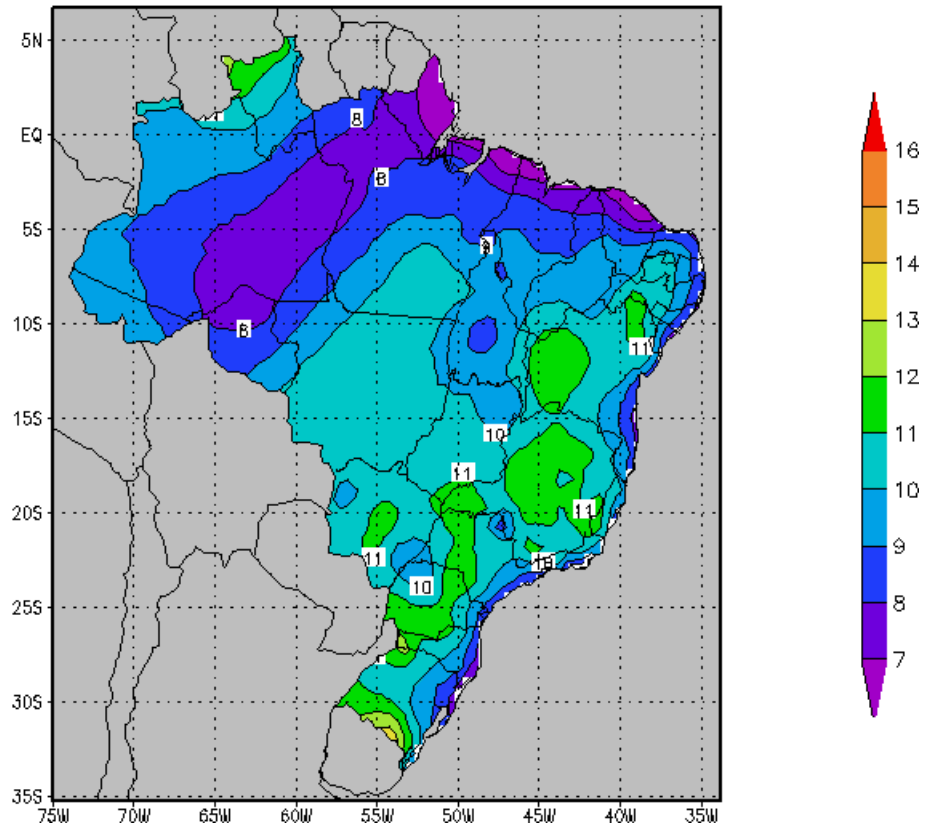
JANEIRO



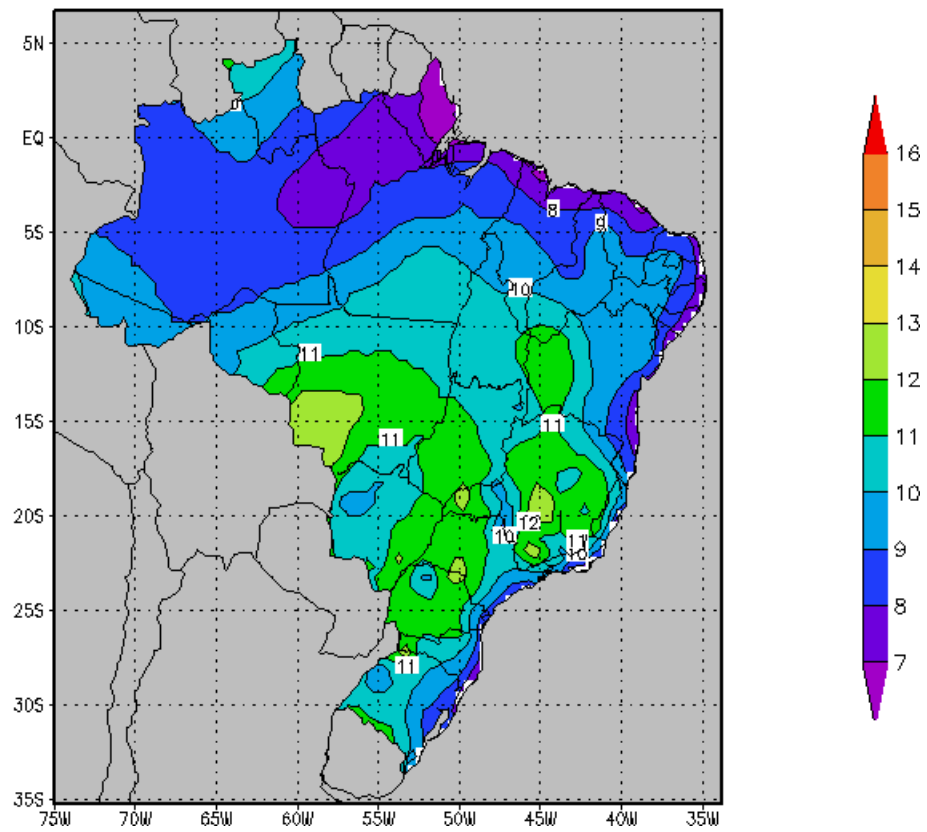
FEVEREIRO



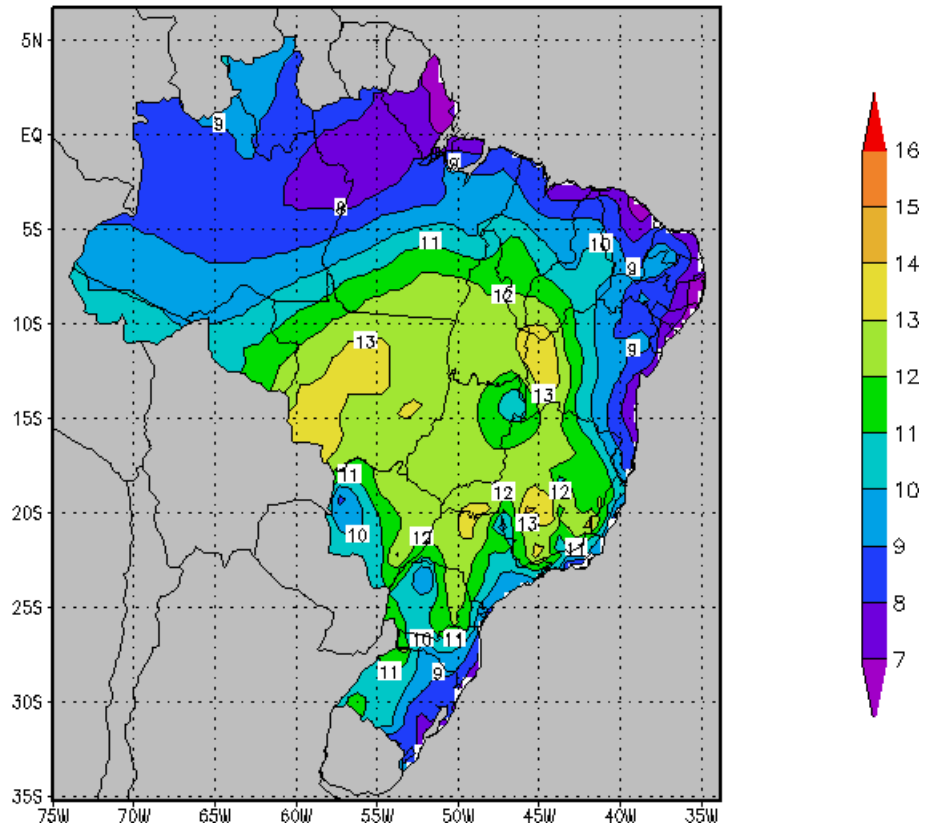
MARÇO



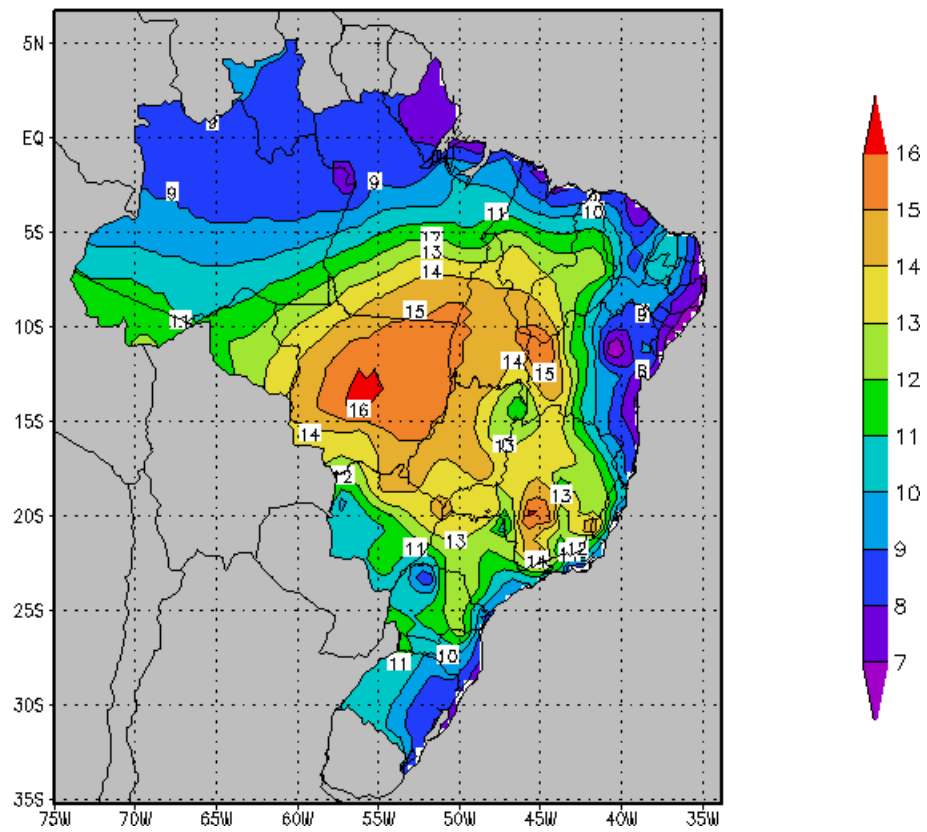
ABRIL



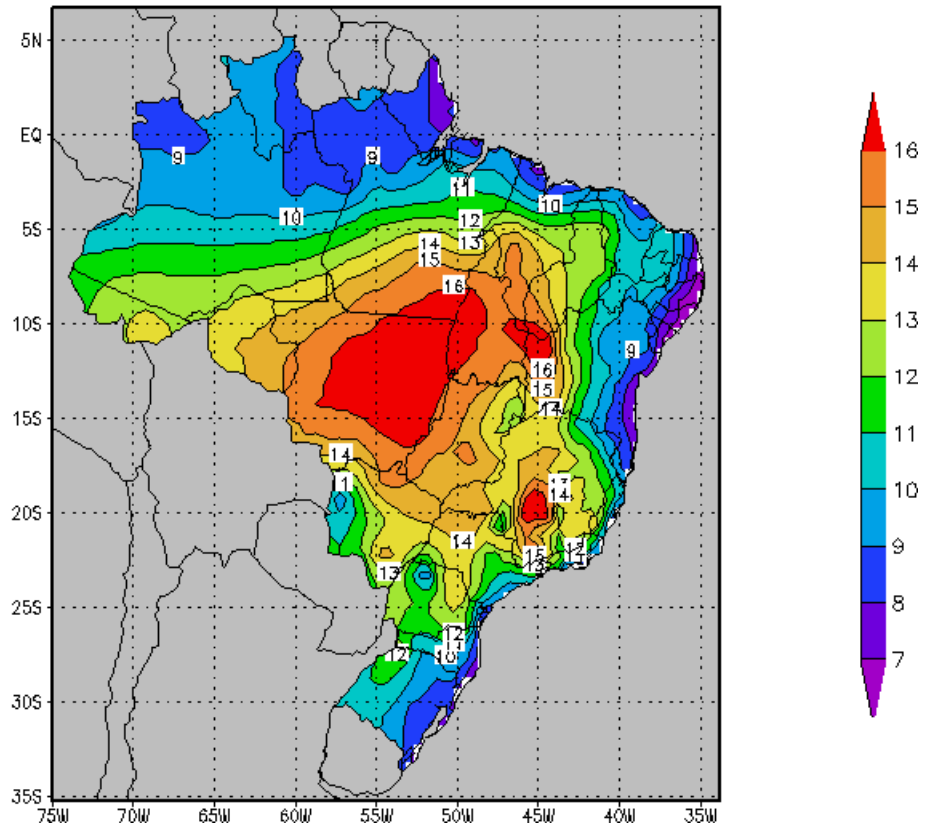
MAIO



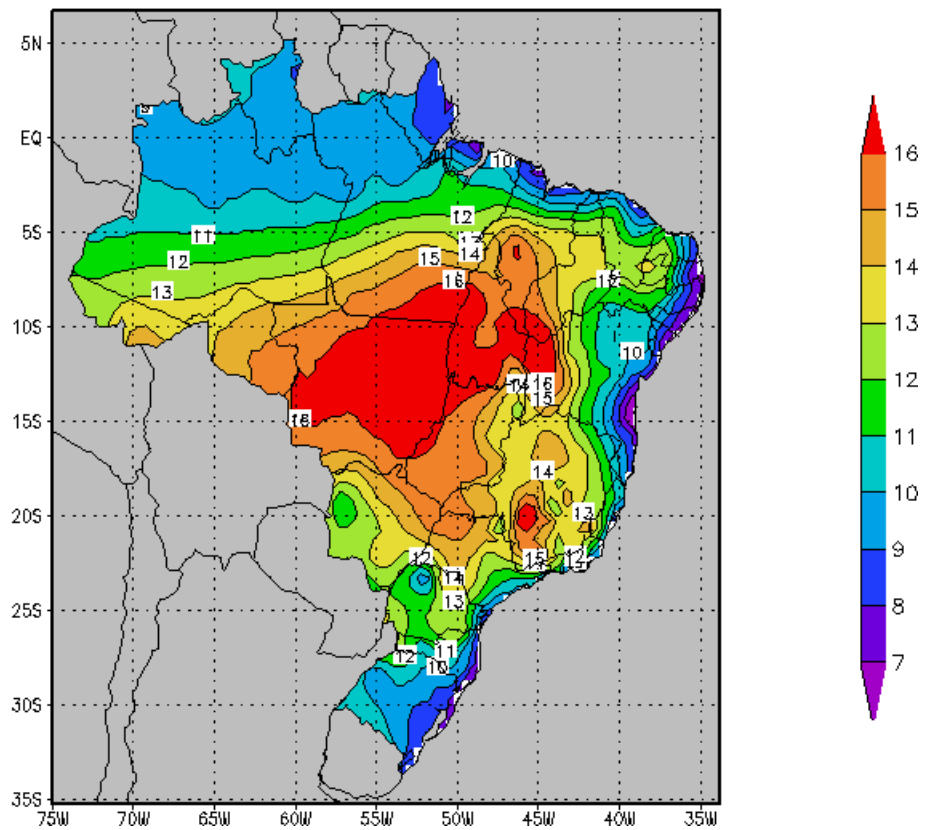
JUNHO



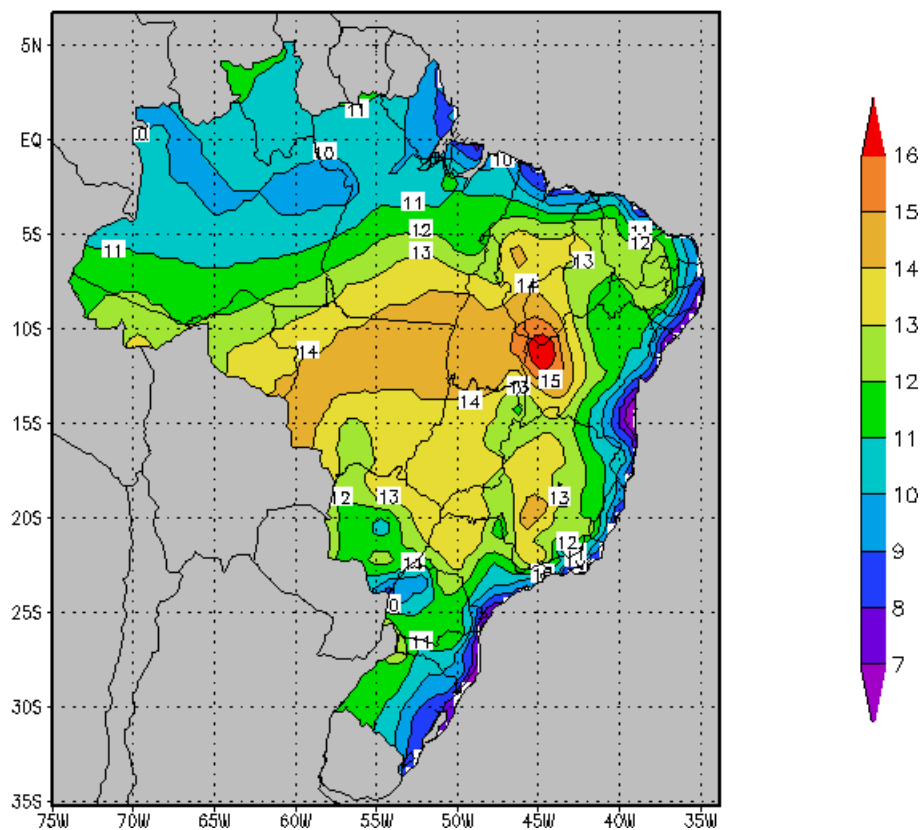
JULHO



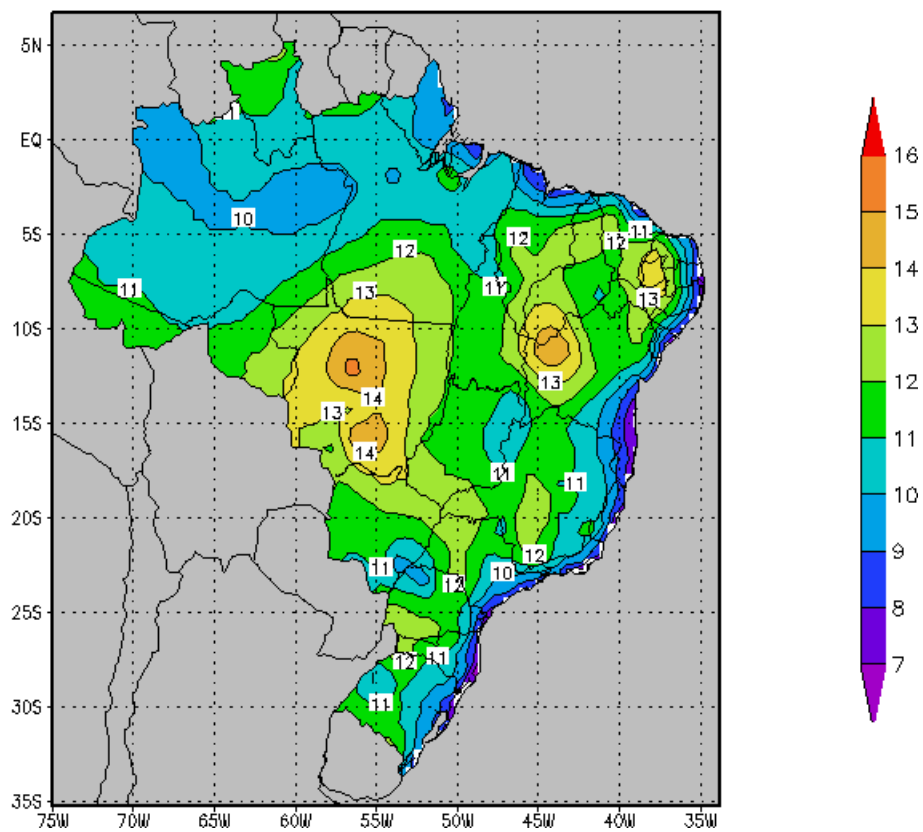
AGOSTO



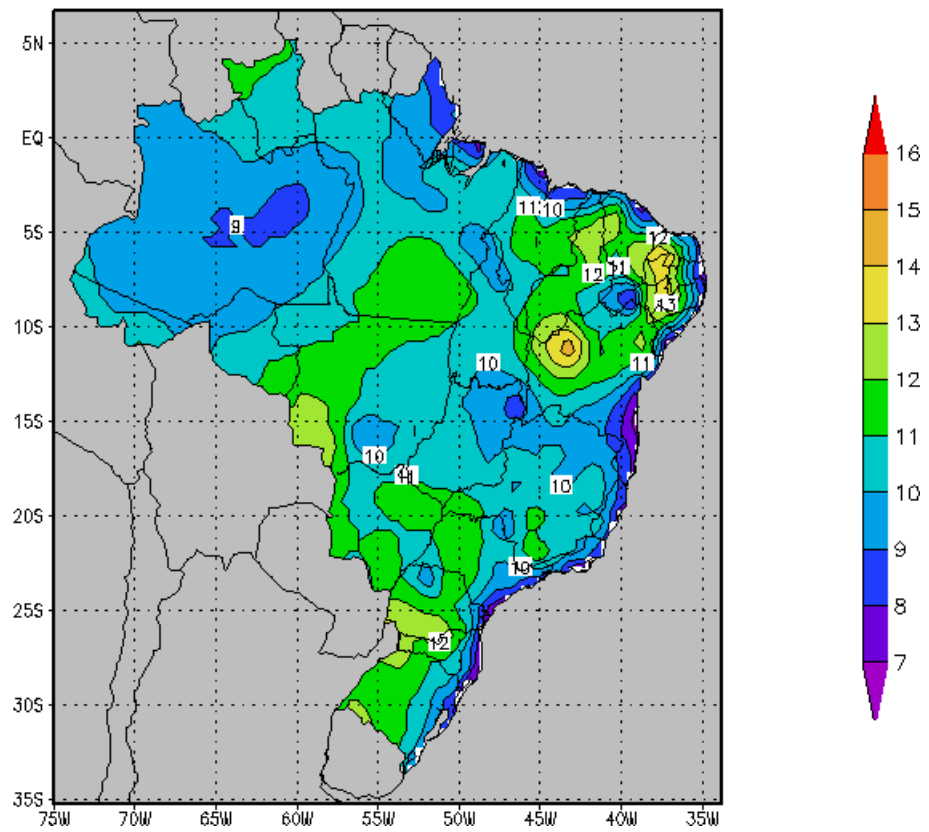
SETEMBRO



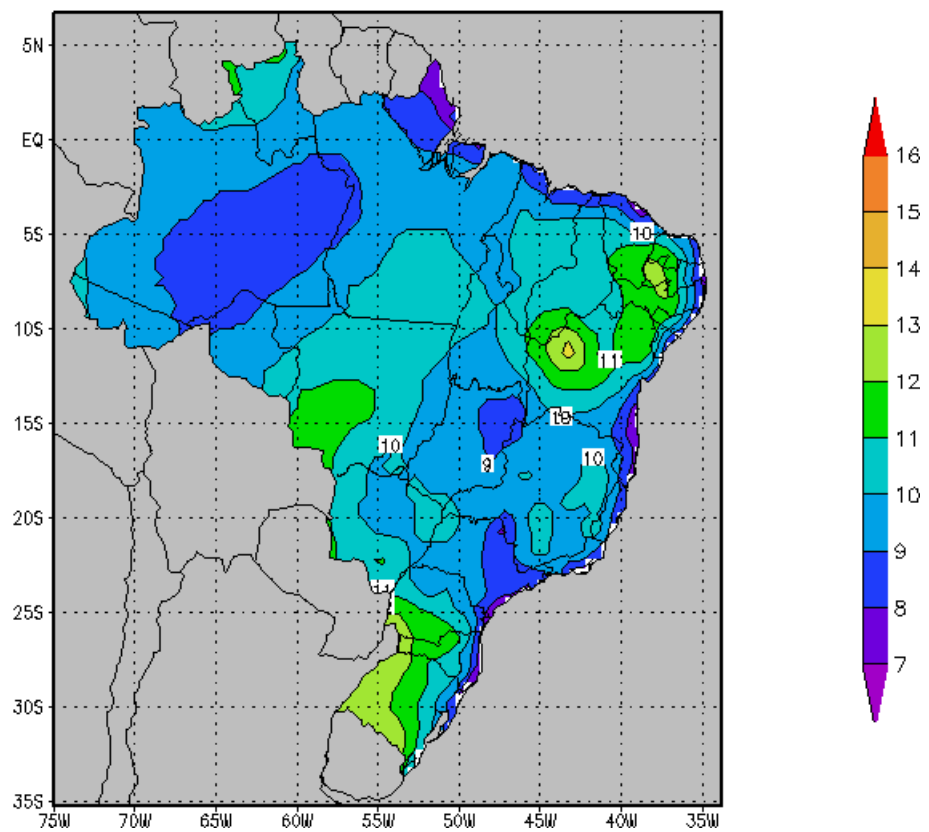
OUTUBRO



NOVEMBRO

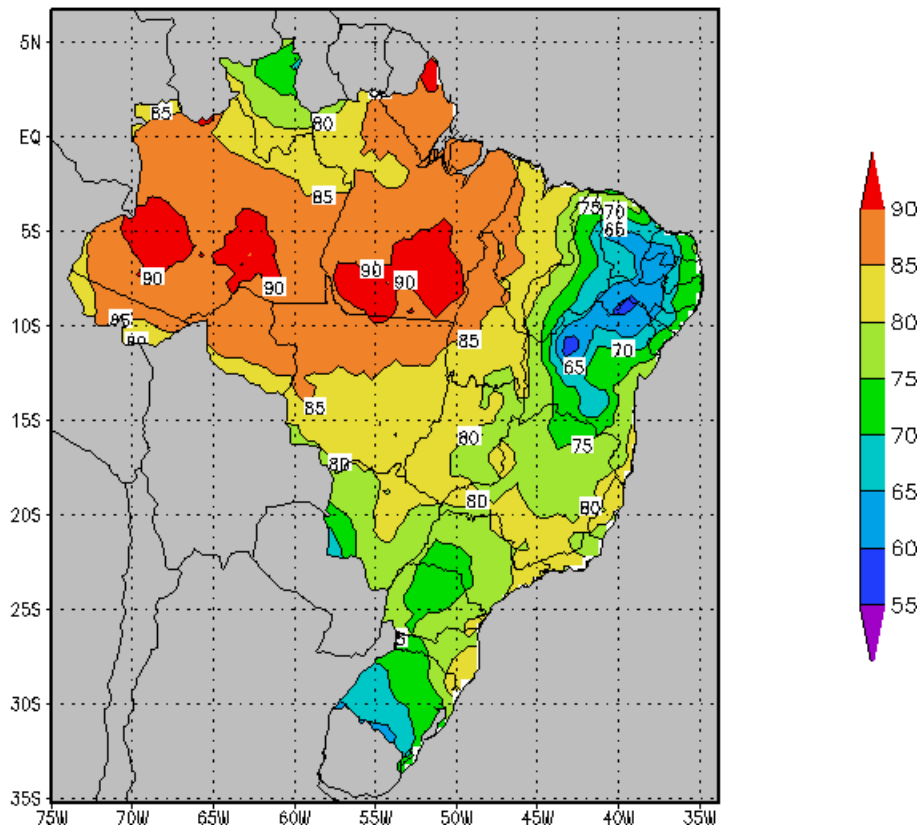


DEZEMBRO

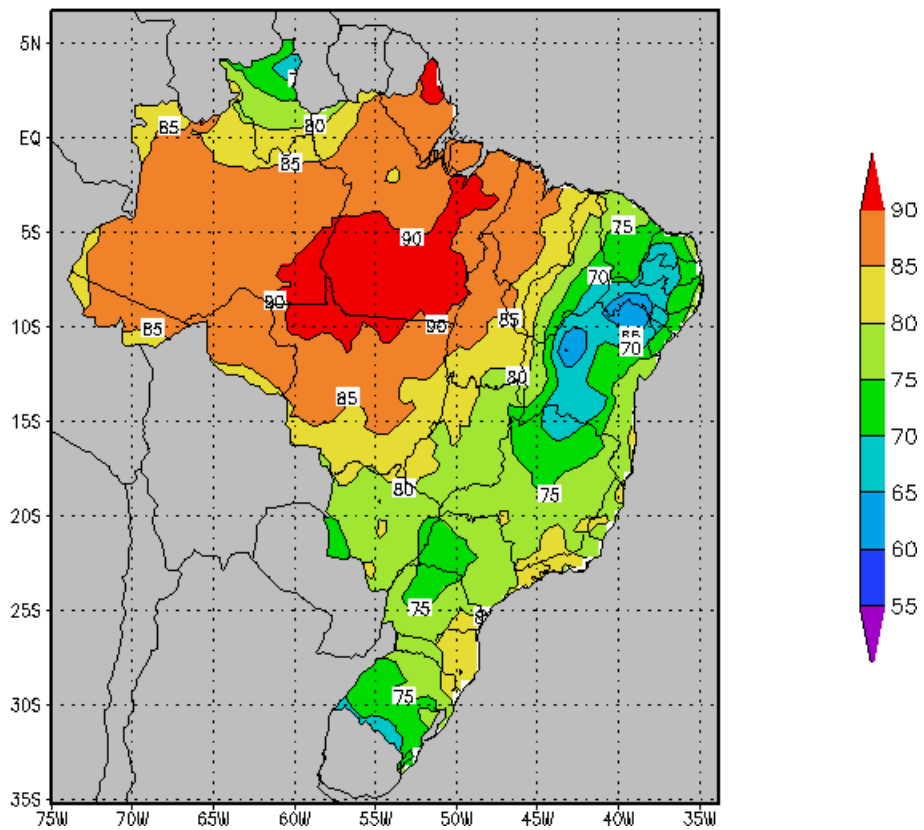


4.2.3. Umidade Relativa Média (%)

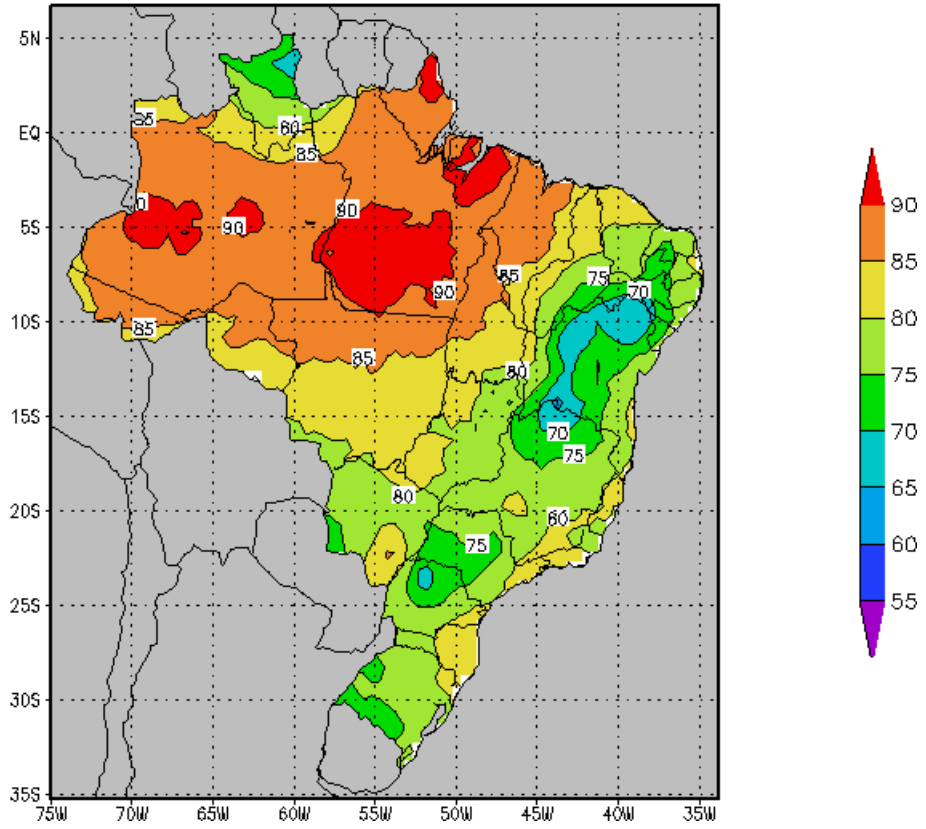
JANEIRO



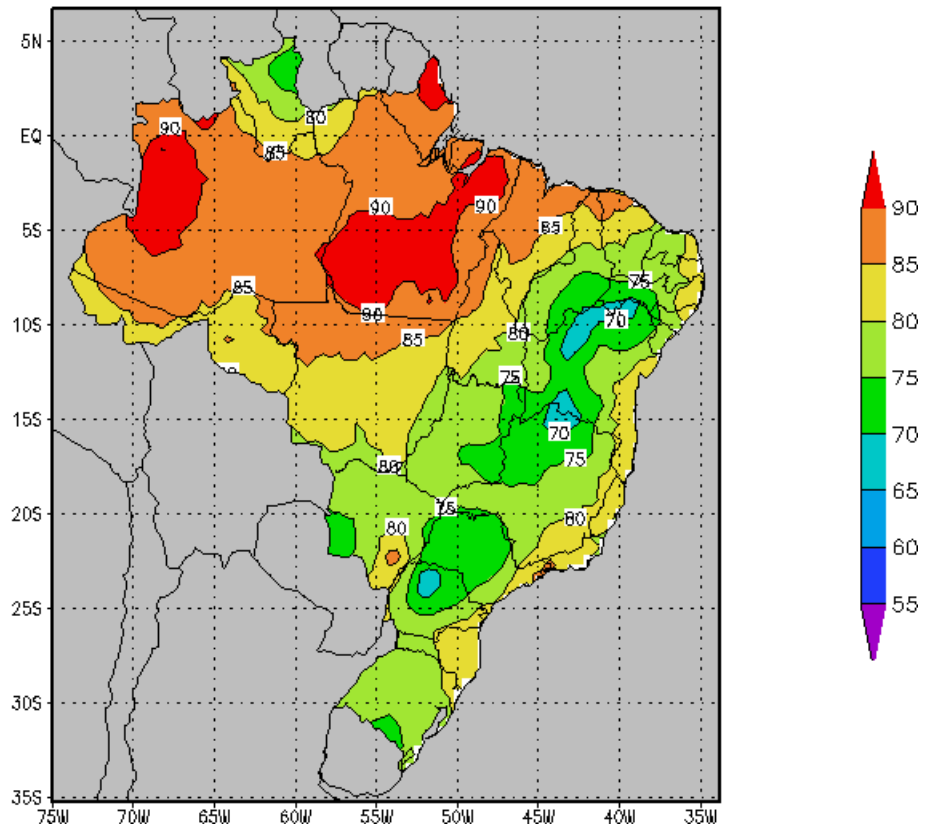
FEVEREIRO



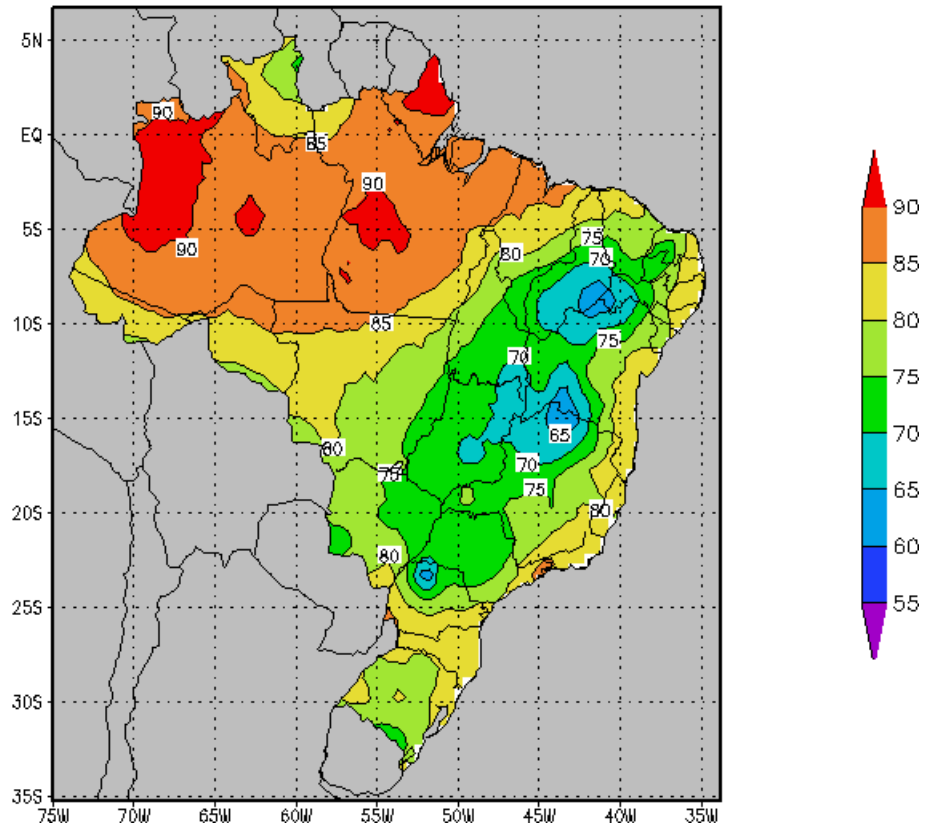
MARÇO



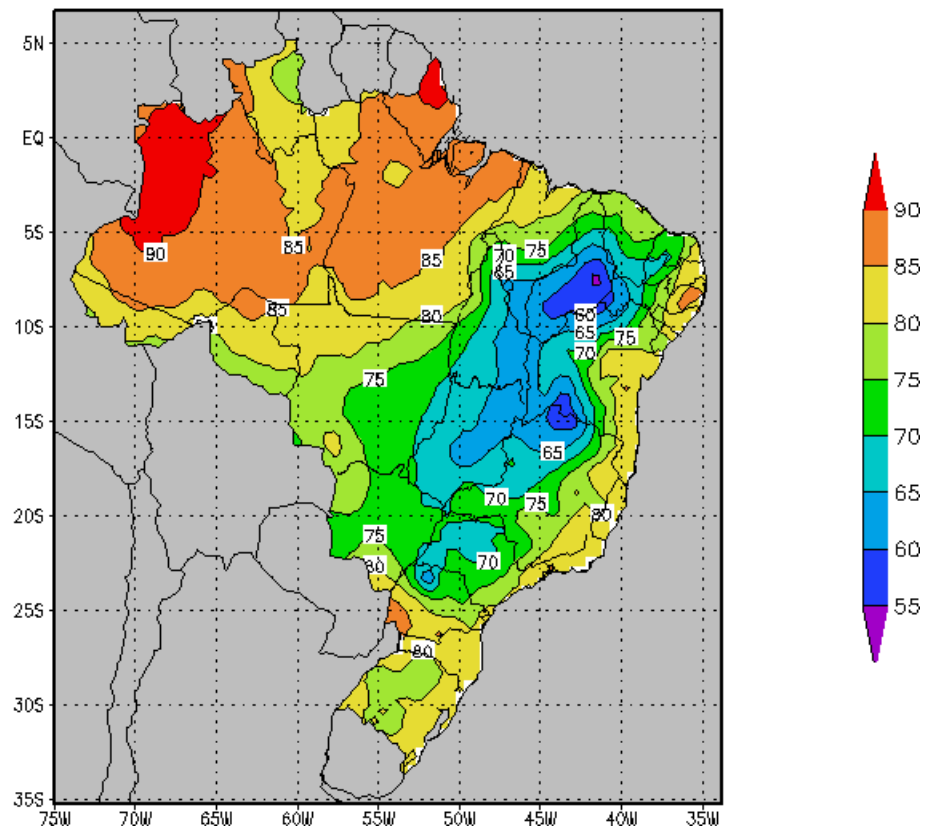
ABRIL



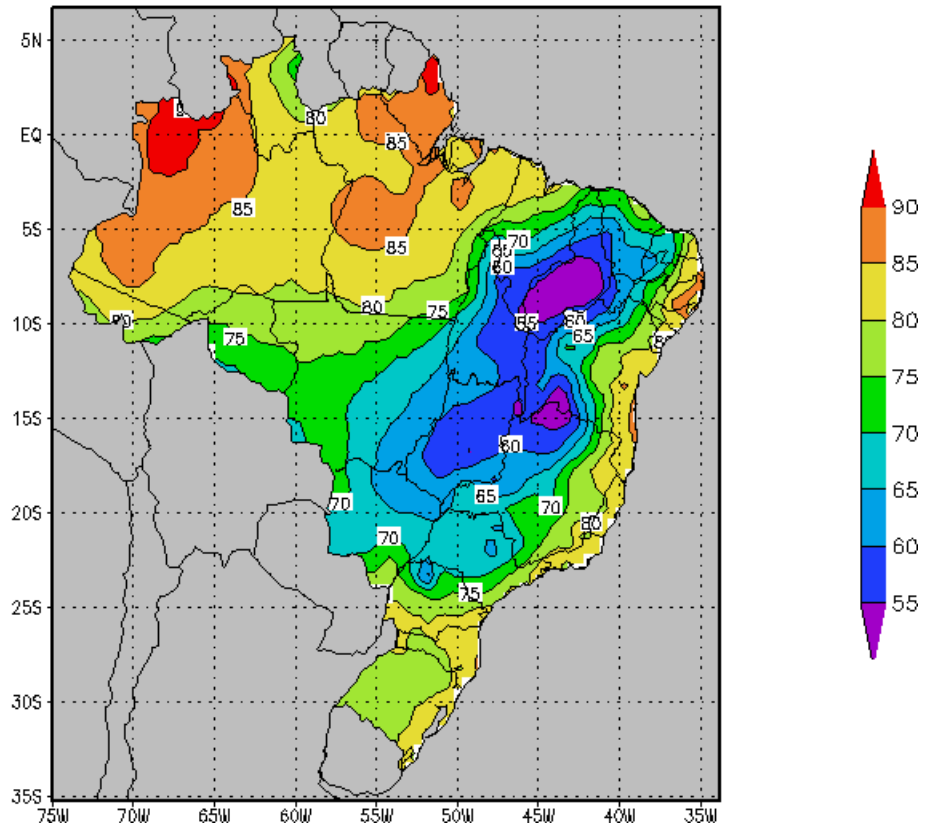
MAIO



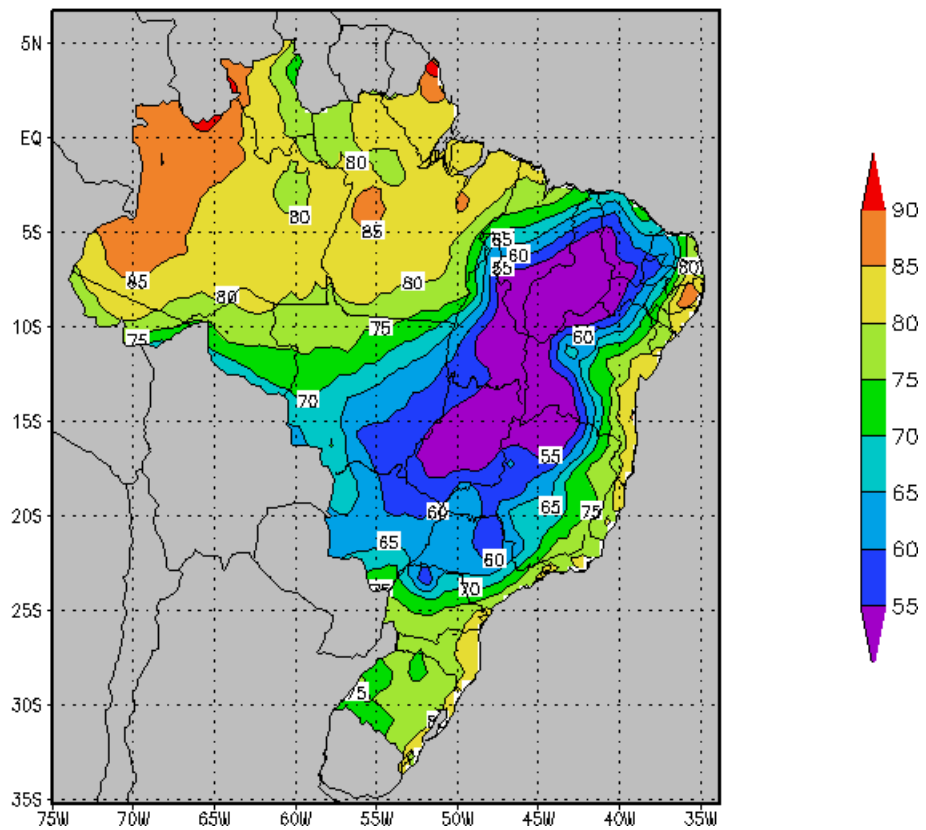
JUNHO



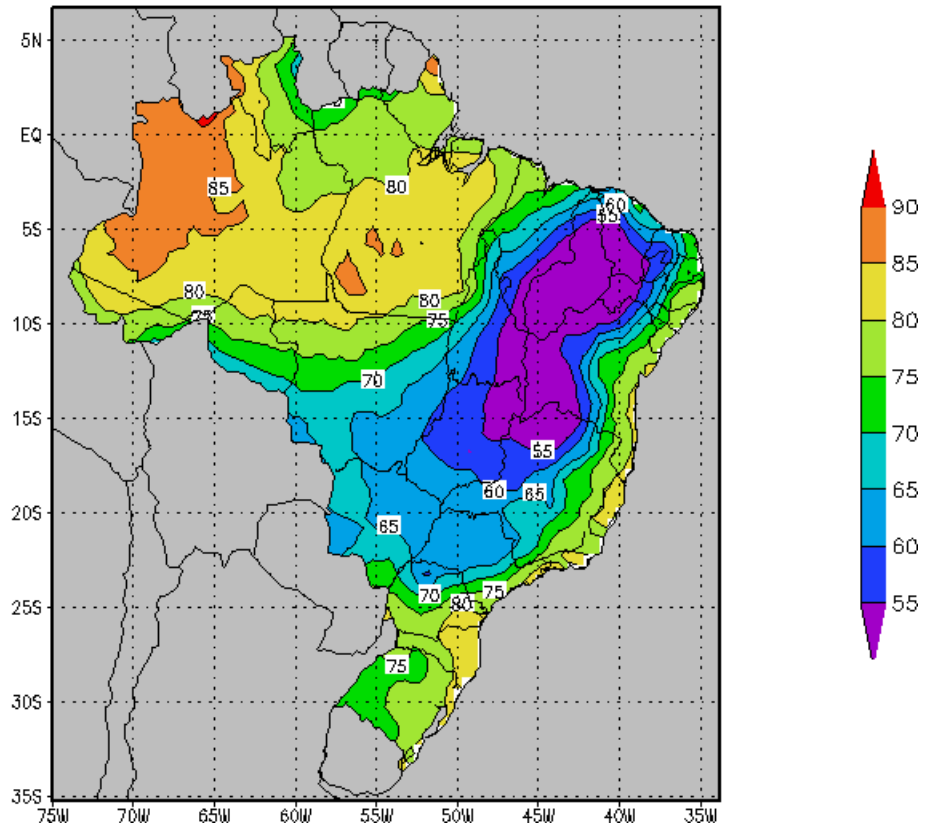
JULHO



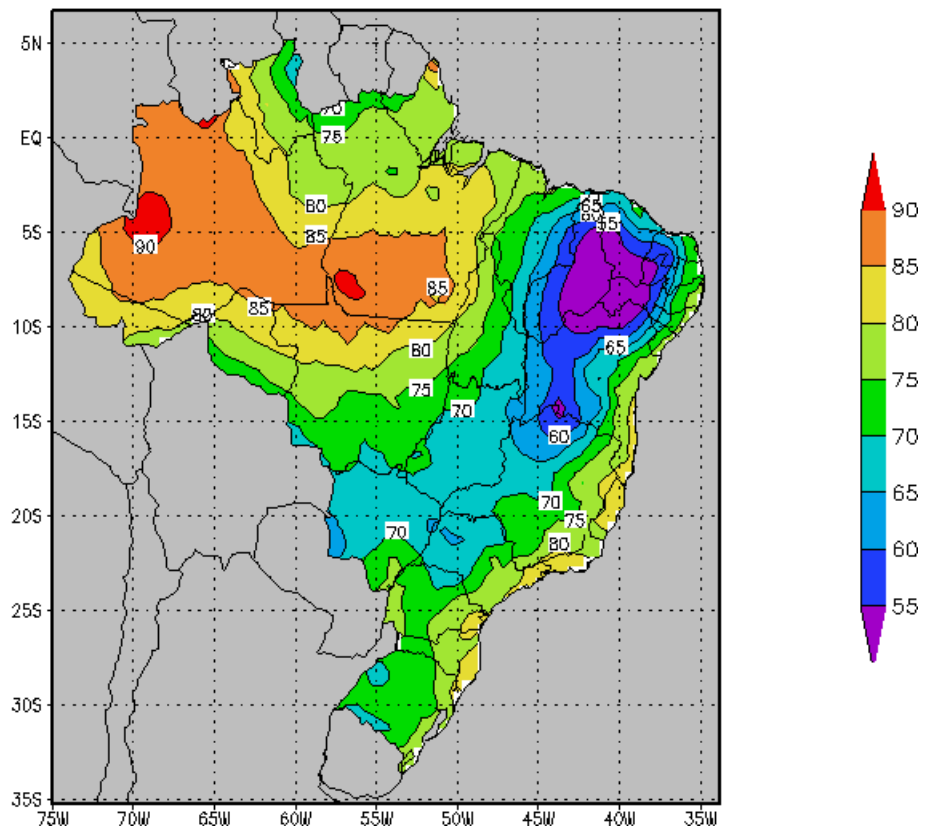
AGOSTO



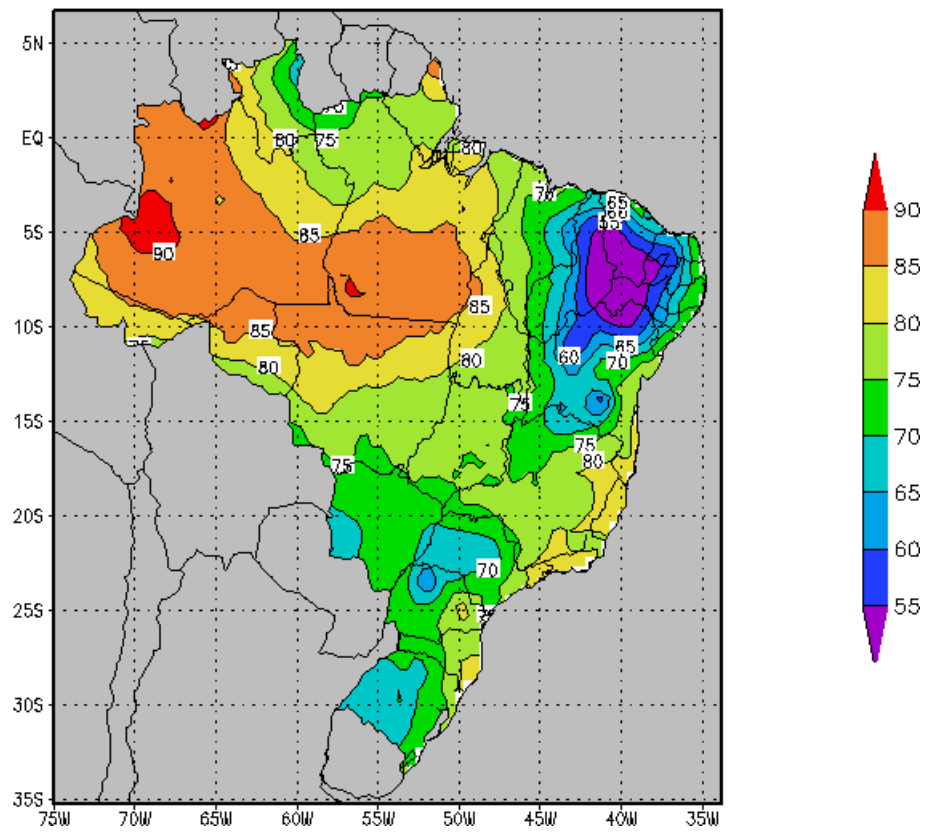
SETEMBRO



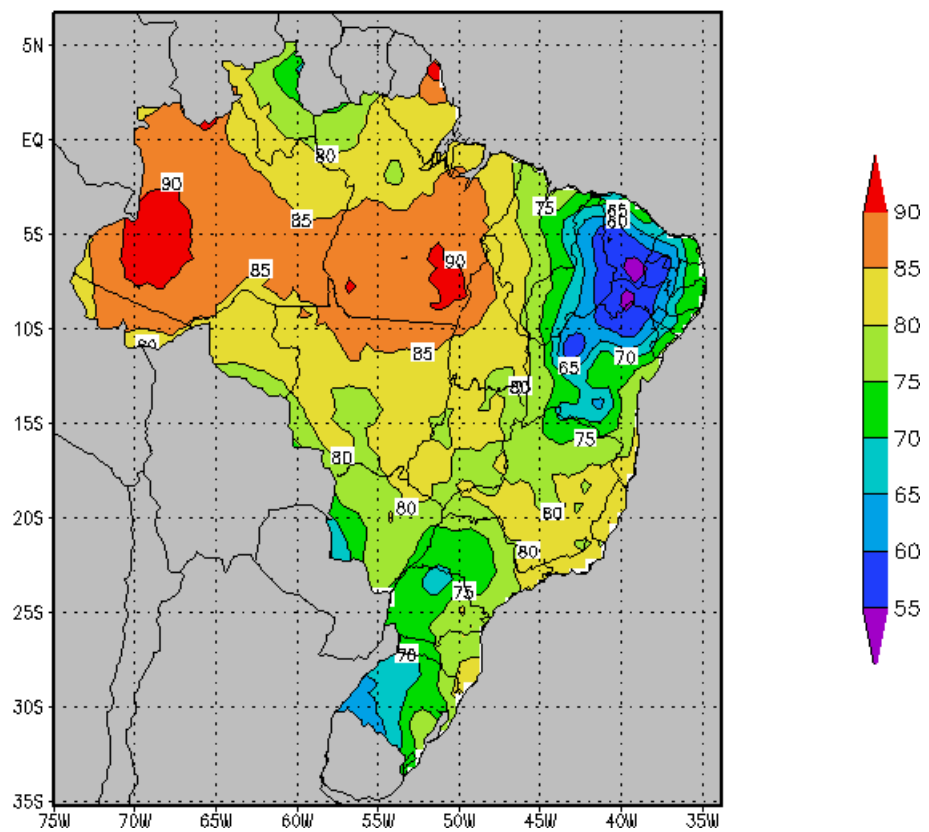
OUTUBRO



NOVEMBRO

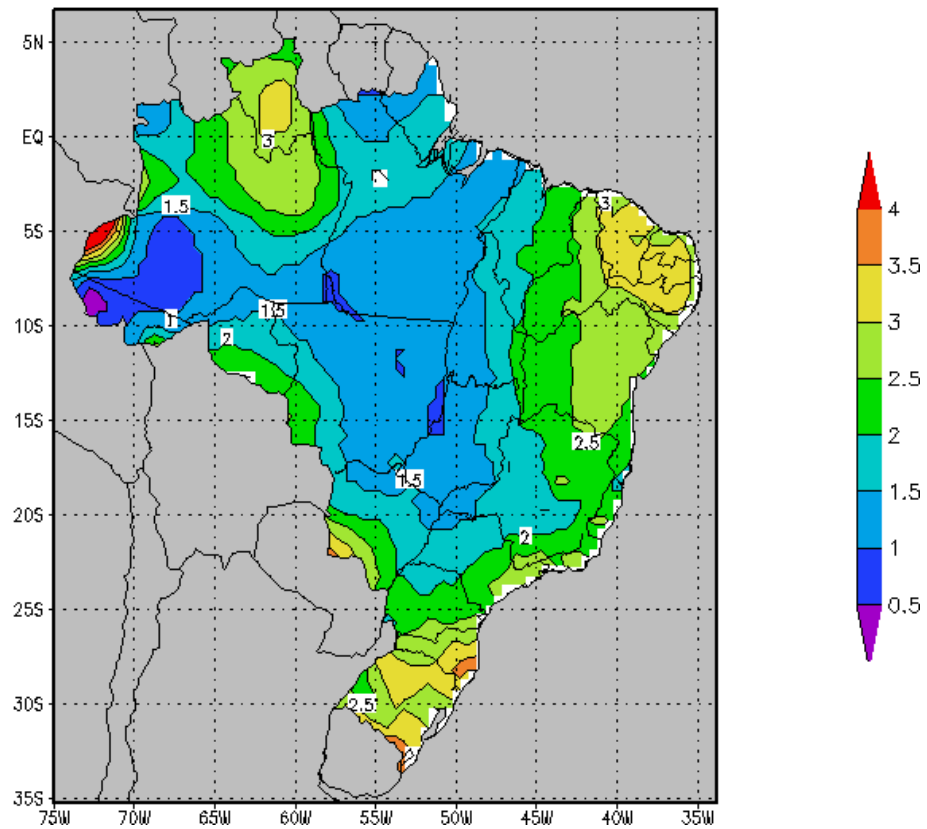


DEZEMBRO

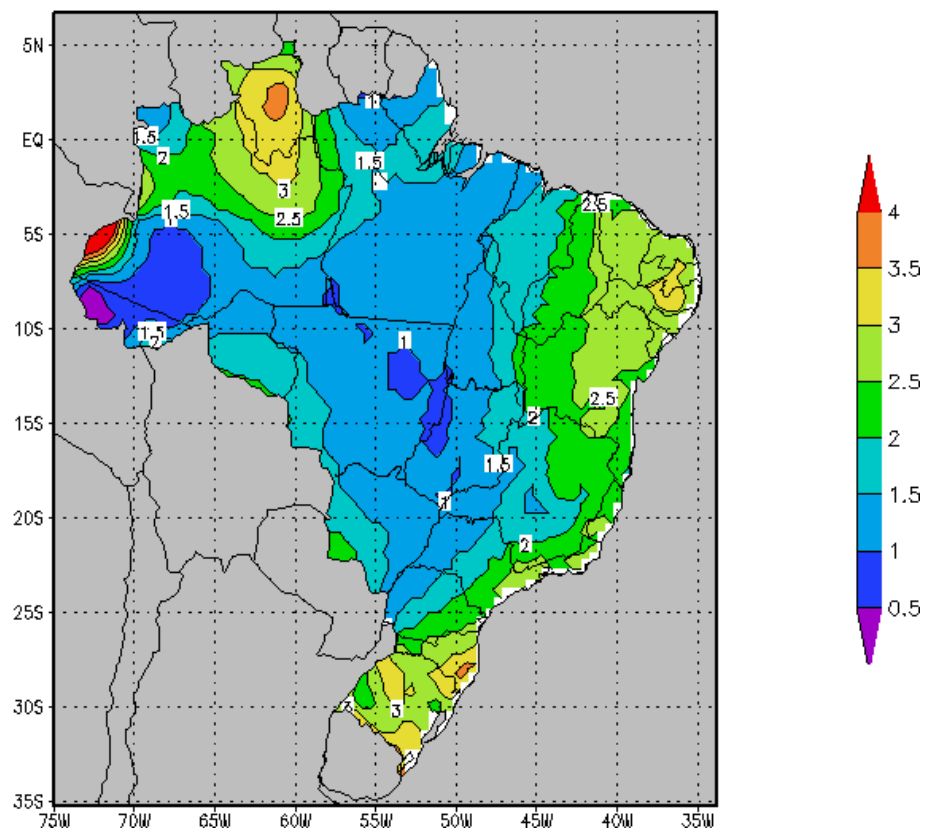


4.2.4. Velocidade média do Vento a 10 metros (m/s)

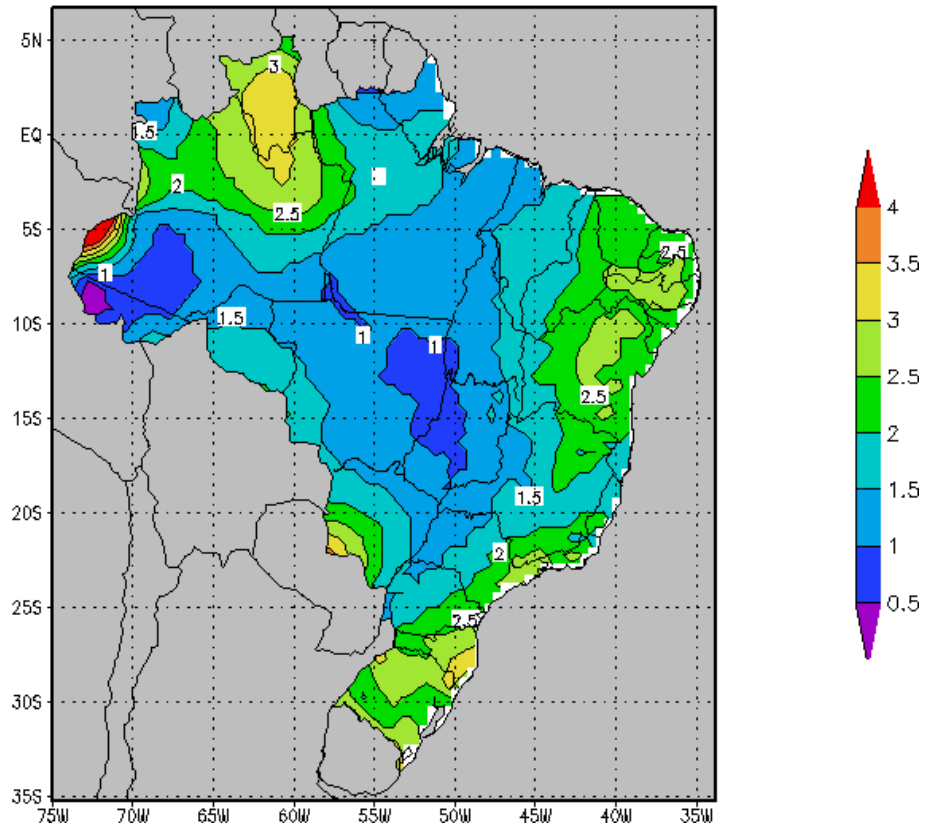
JANEIRO



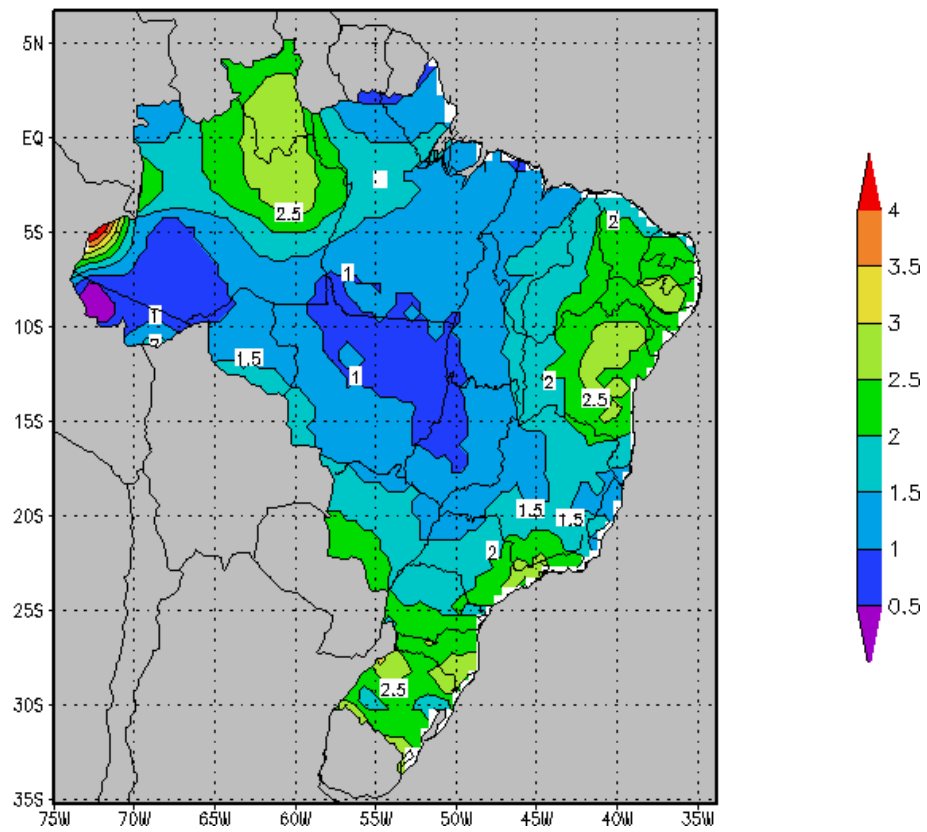
FEVEREIRO



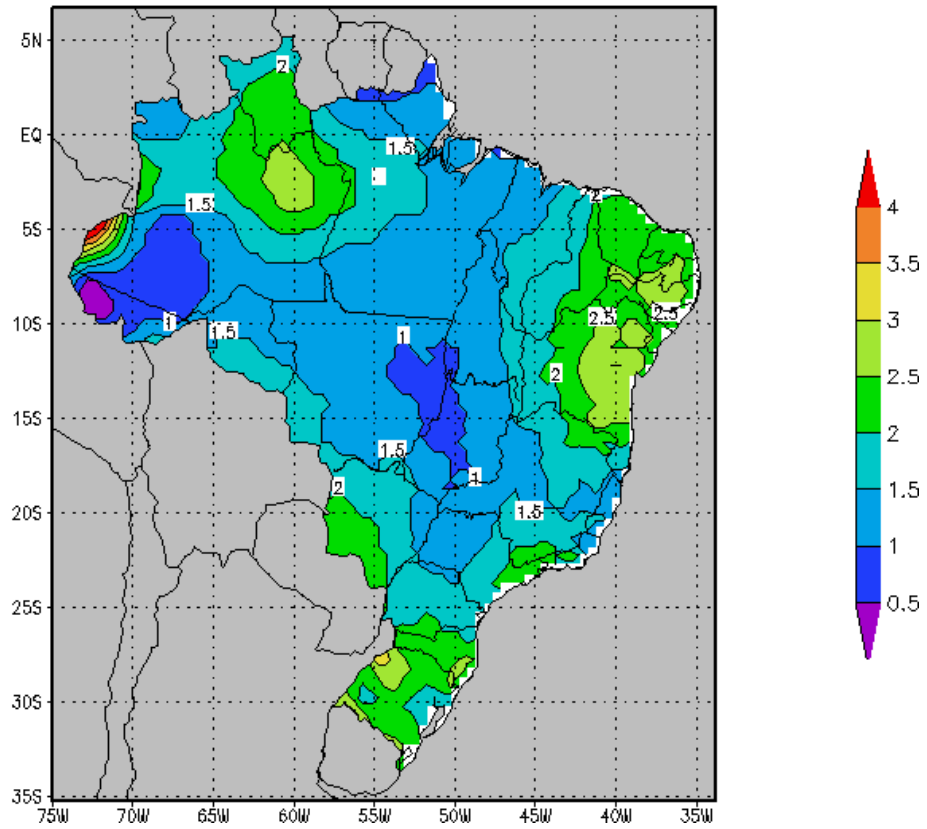
MARÇO



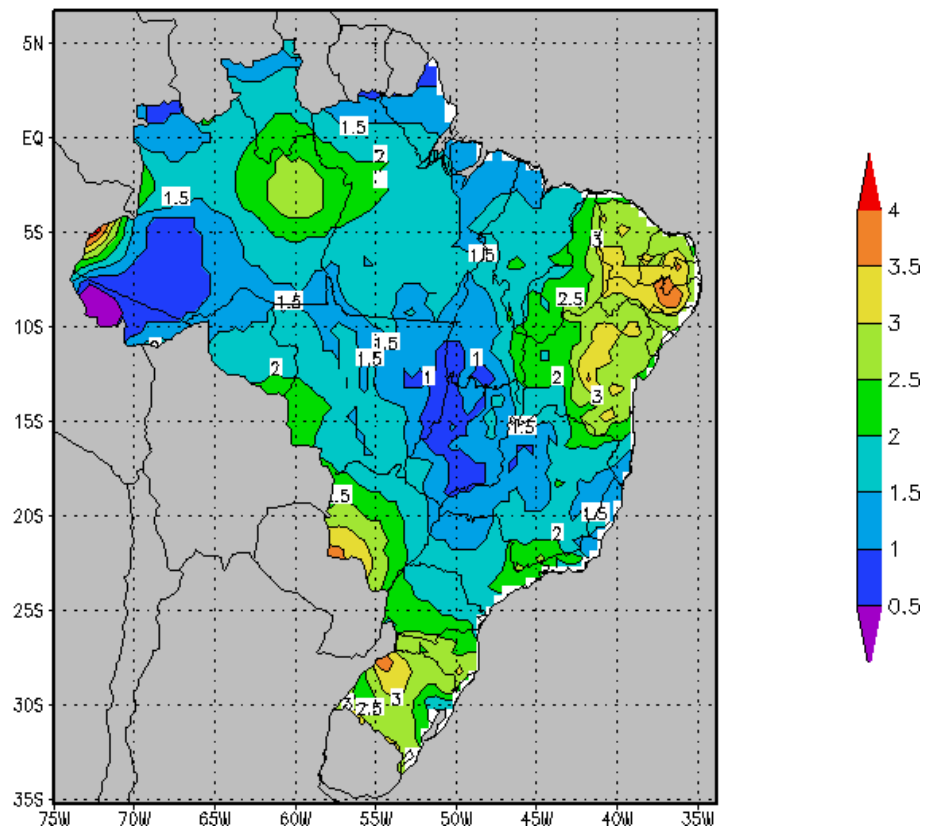
ABRIL



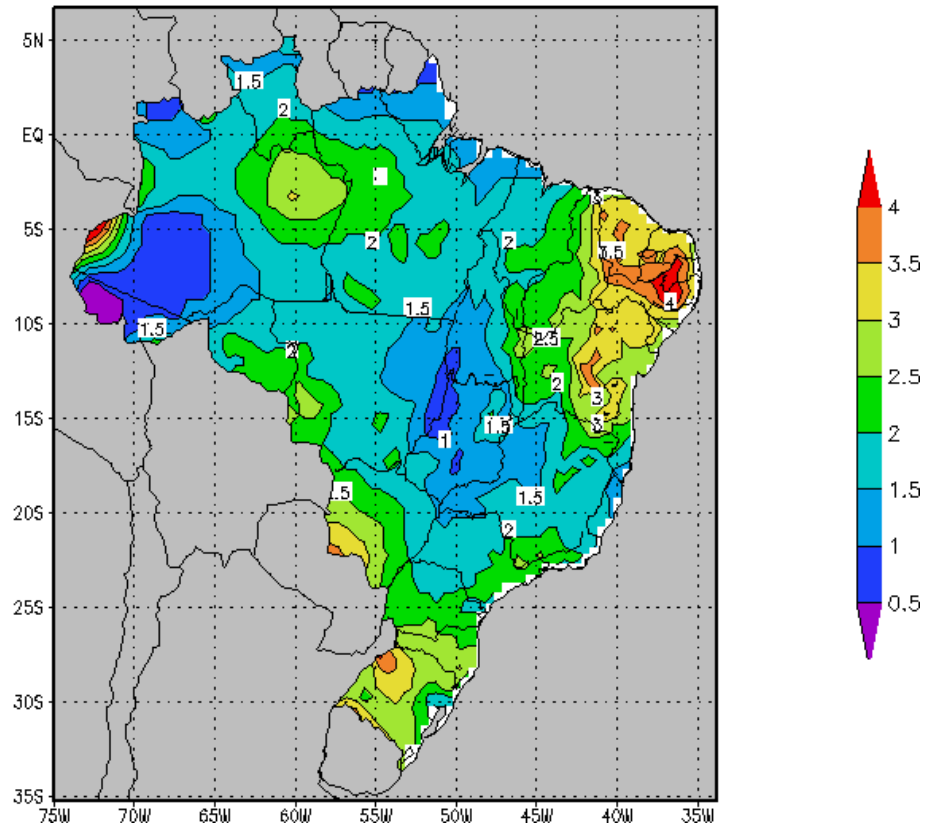
MAIO



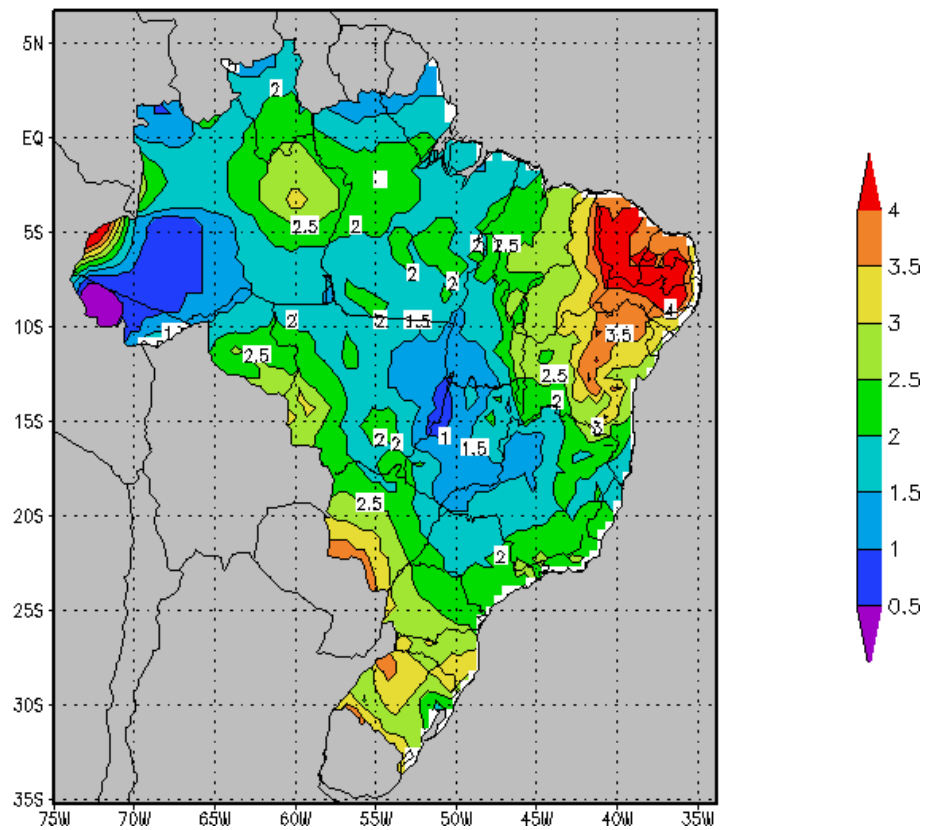
JUNHO



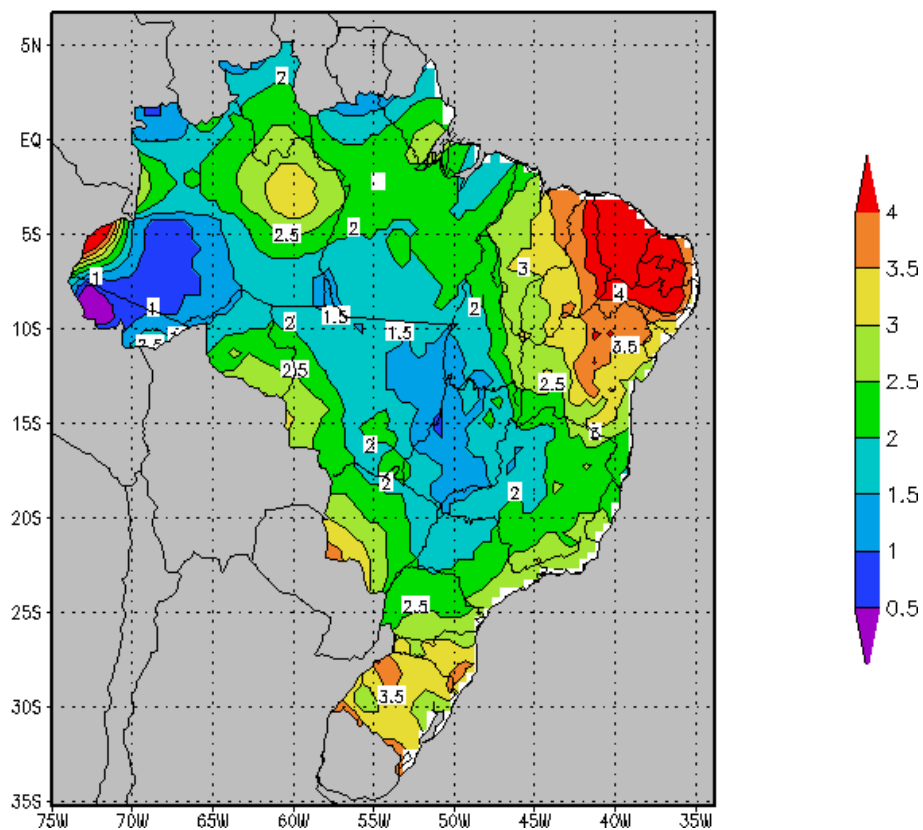
JULHO



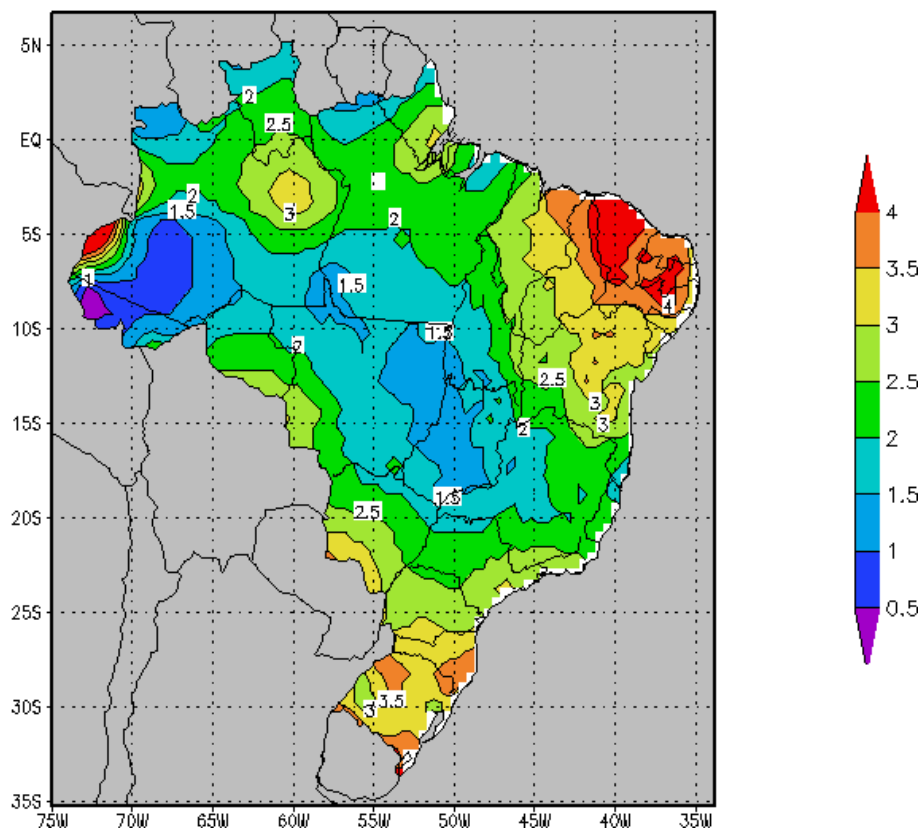
AGOSTO



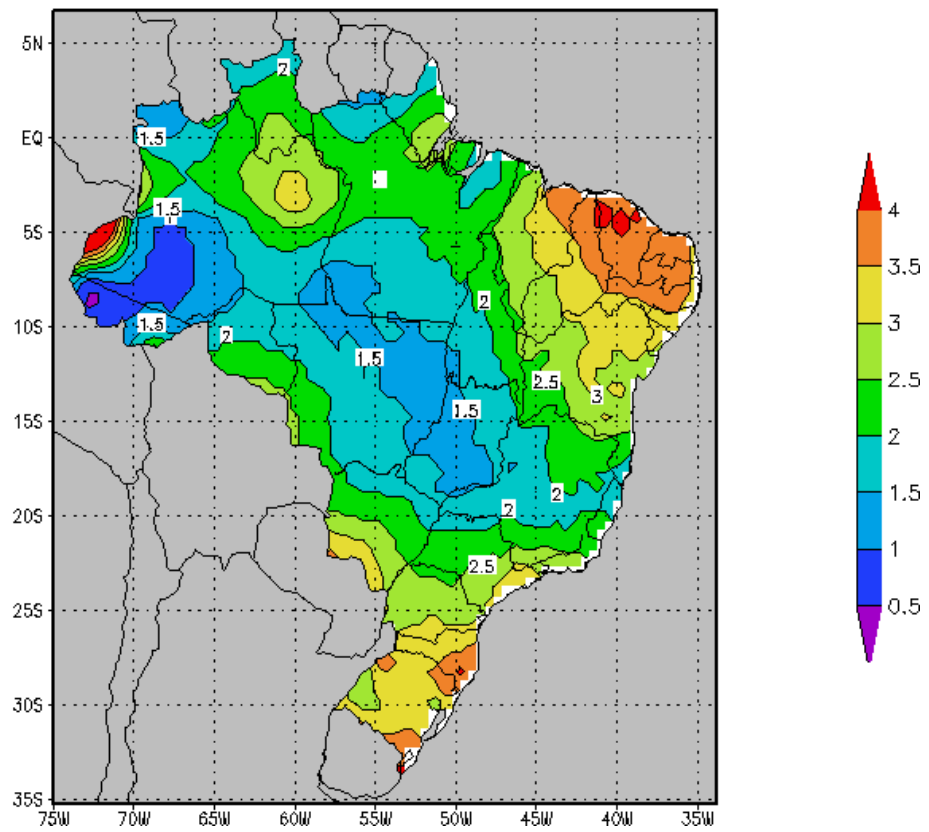
SETEMBRO



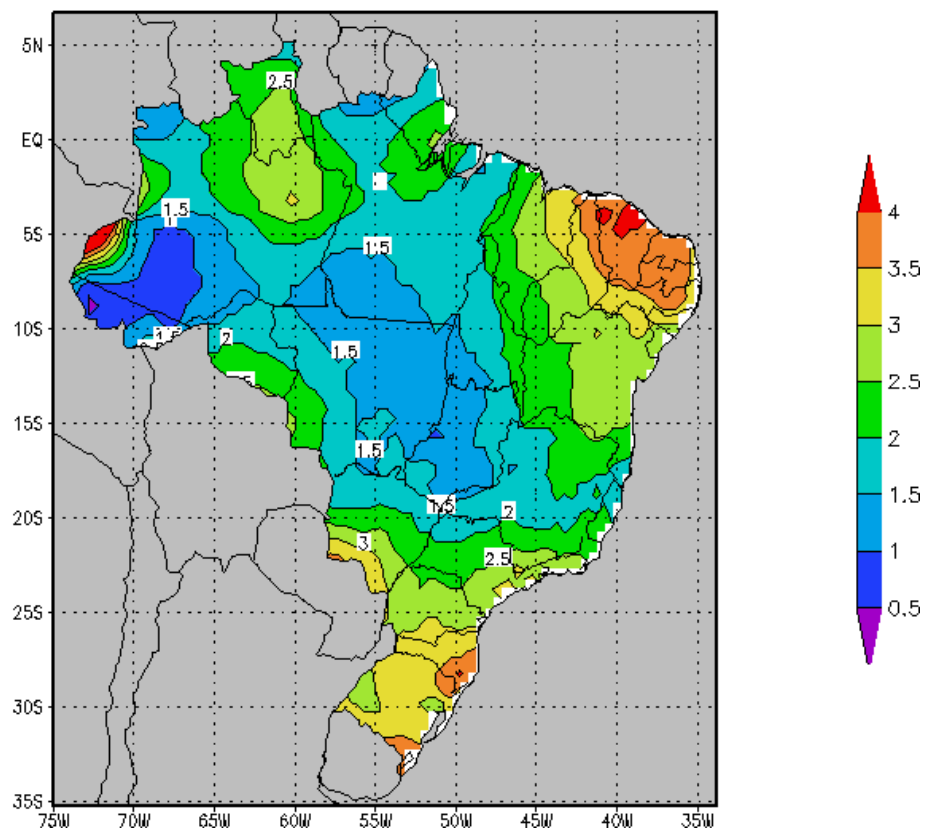
OUTUBRO



NOVEMBRO

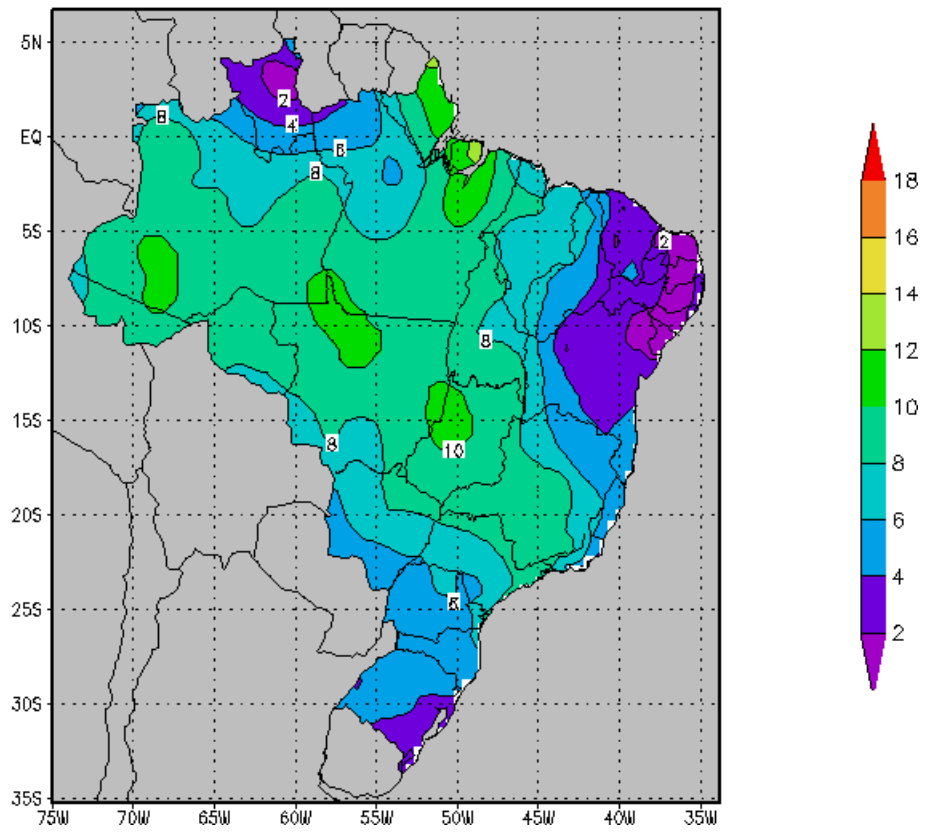


DEZEMBRO

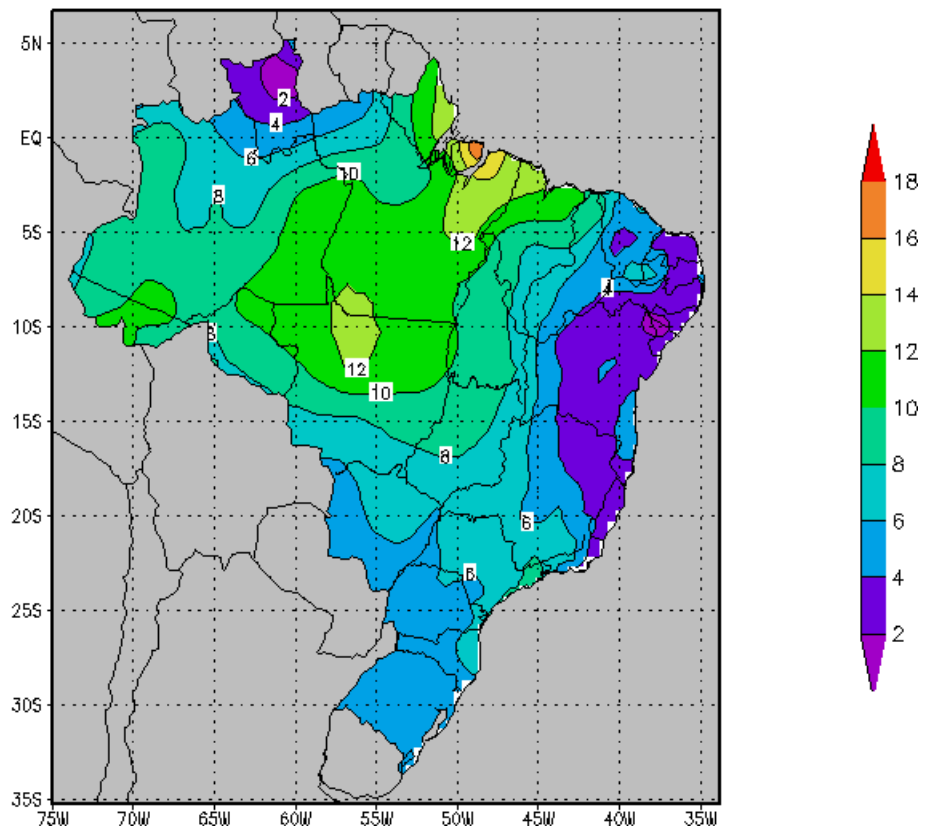


4.2.5. Média Diária de Chuva (mm)

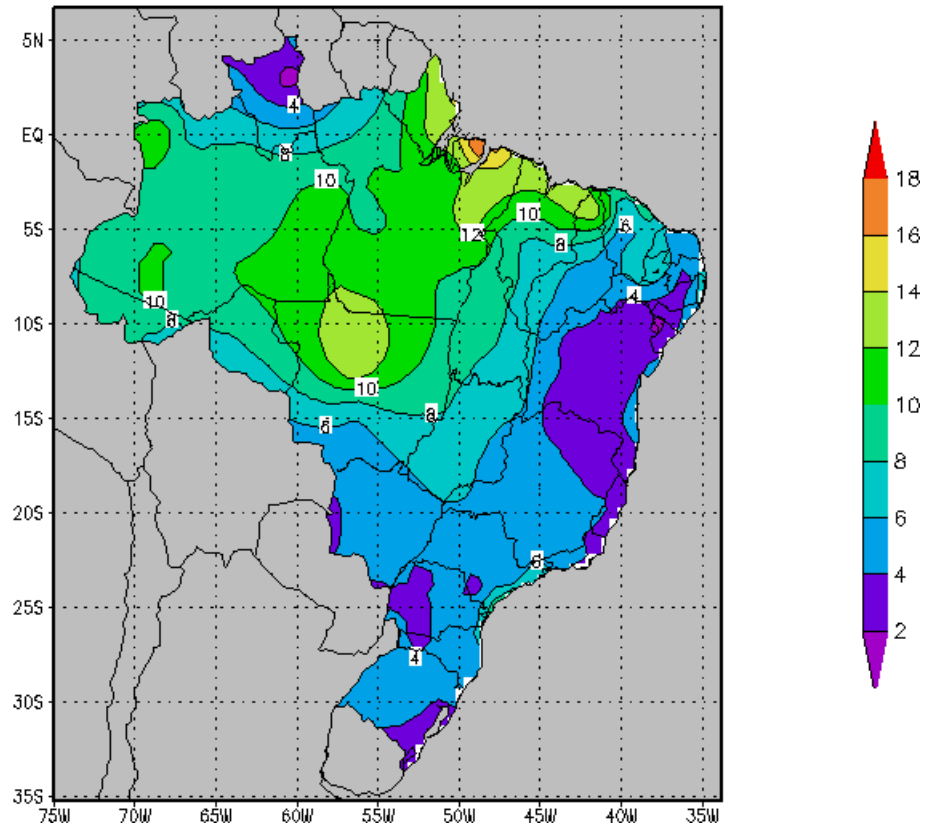
JANEIRO



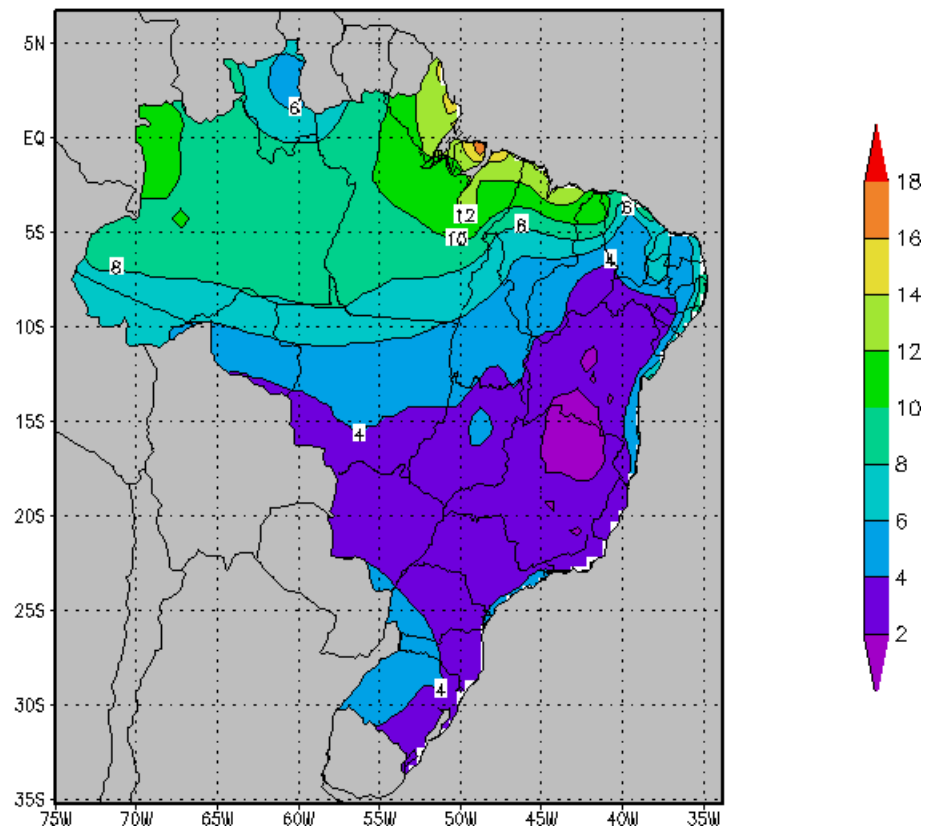
FEVEREIRO



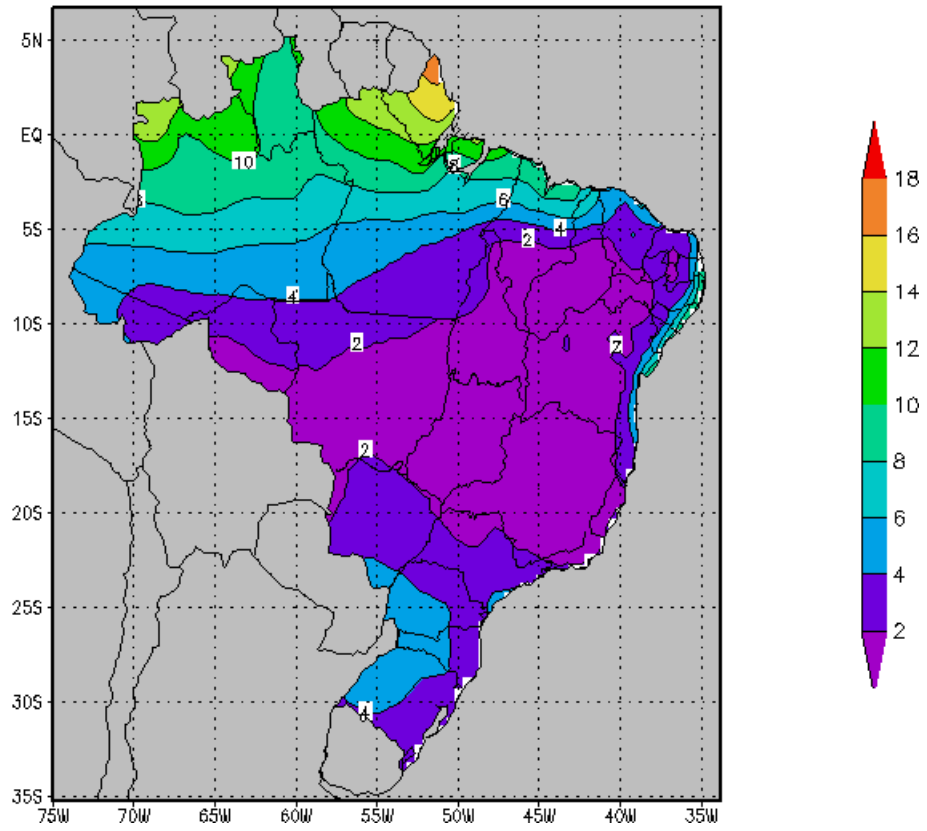
MARÇO



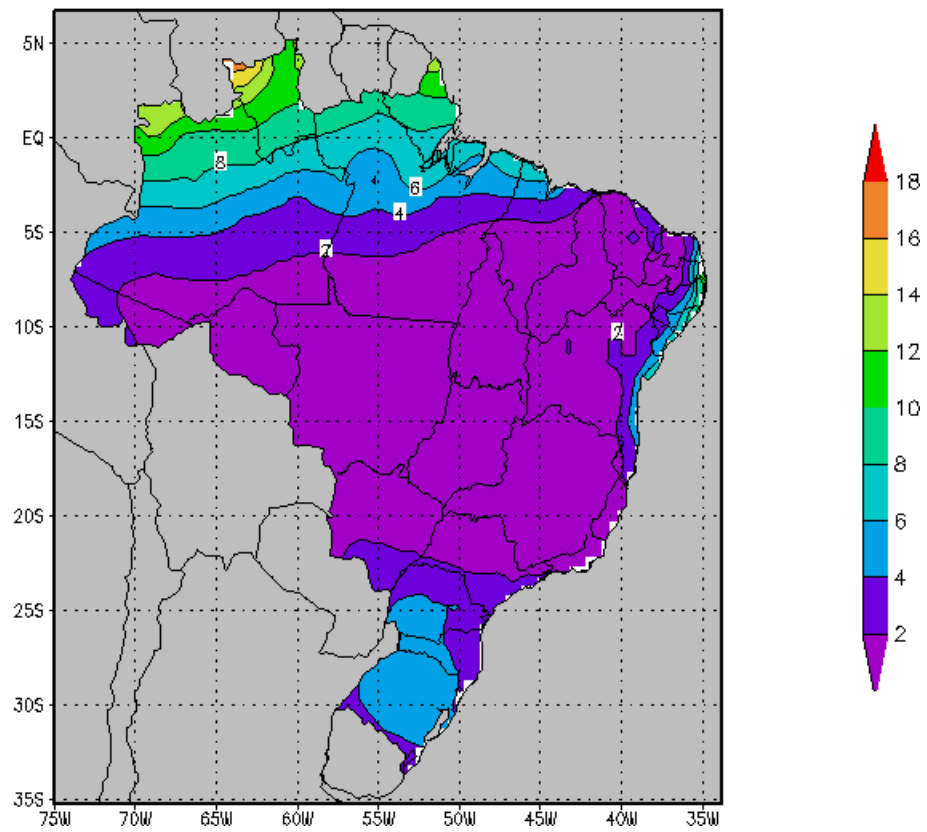
ABRIL



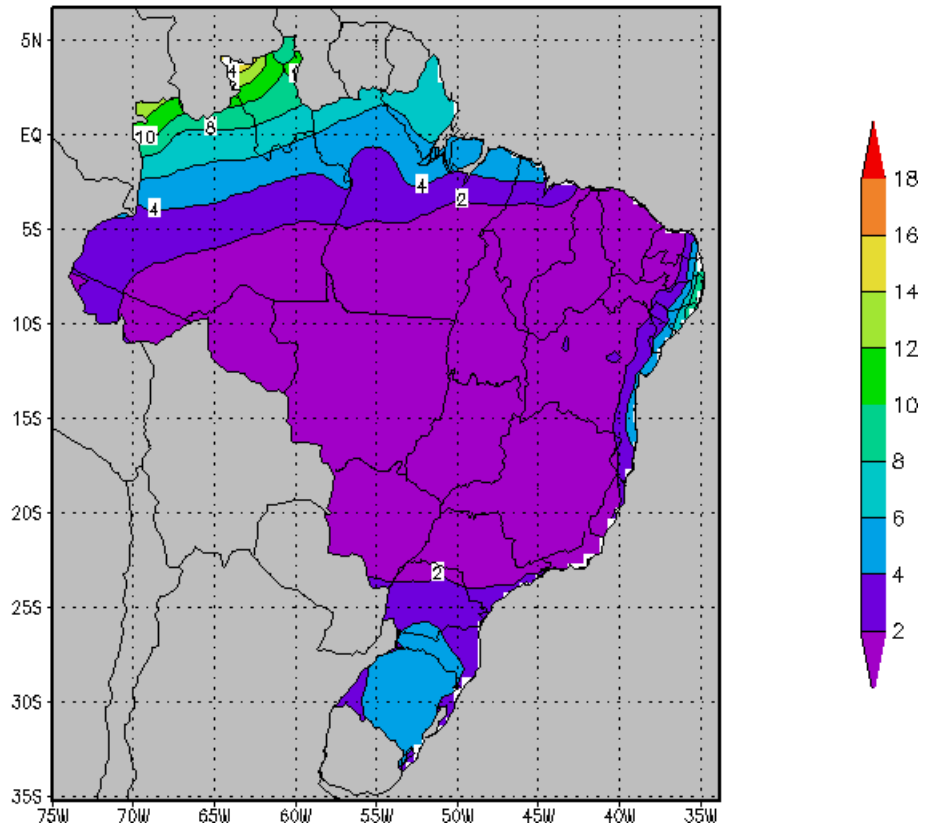
MAIO



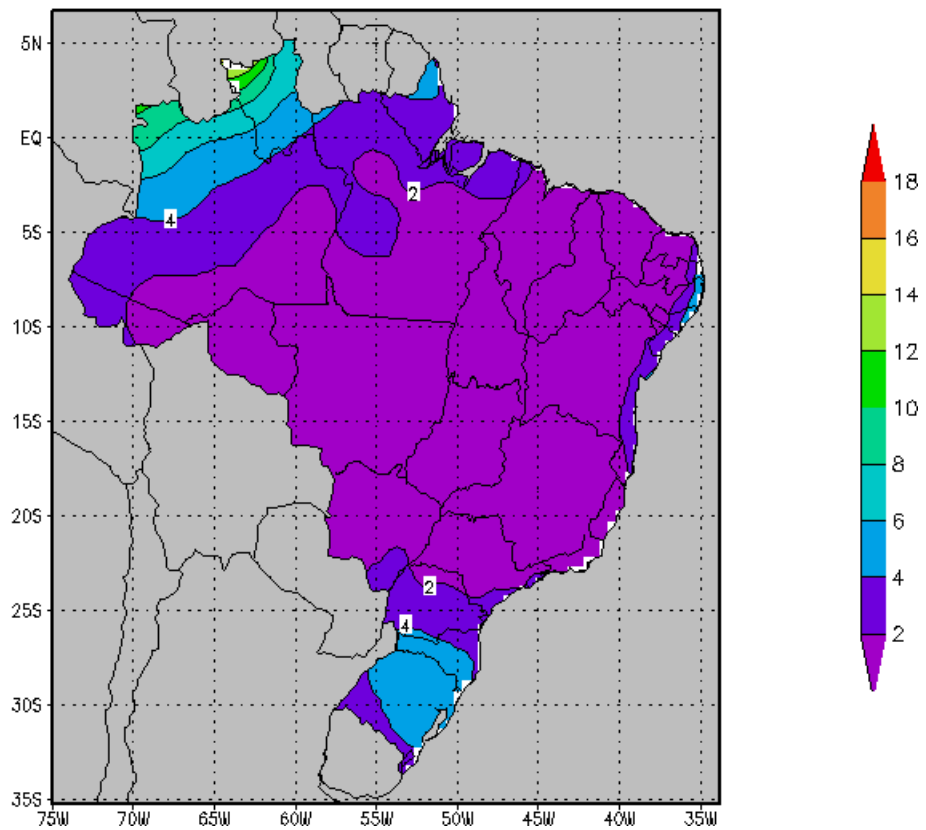
JUNHO



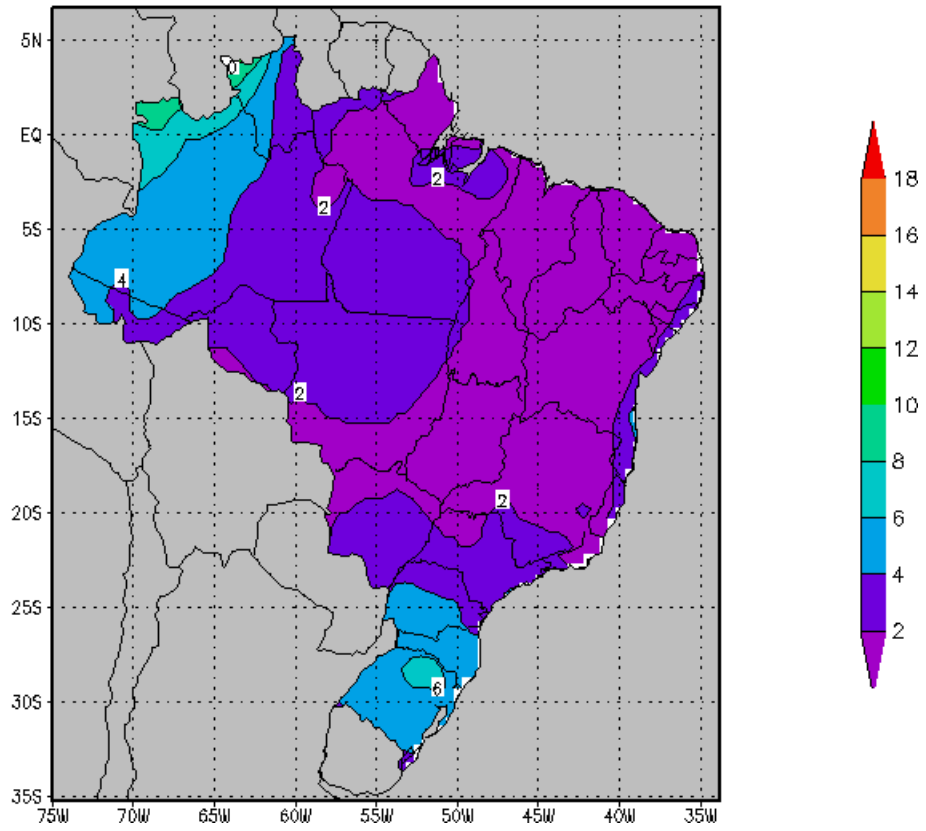
JULHO



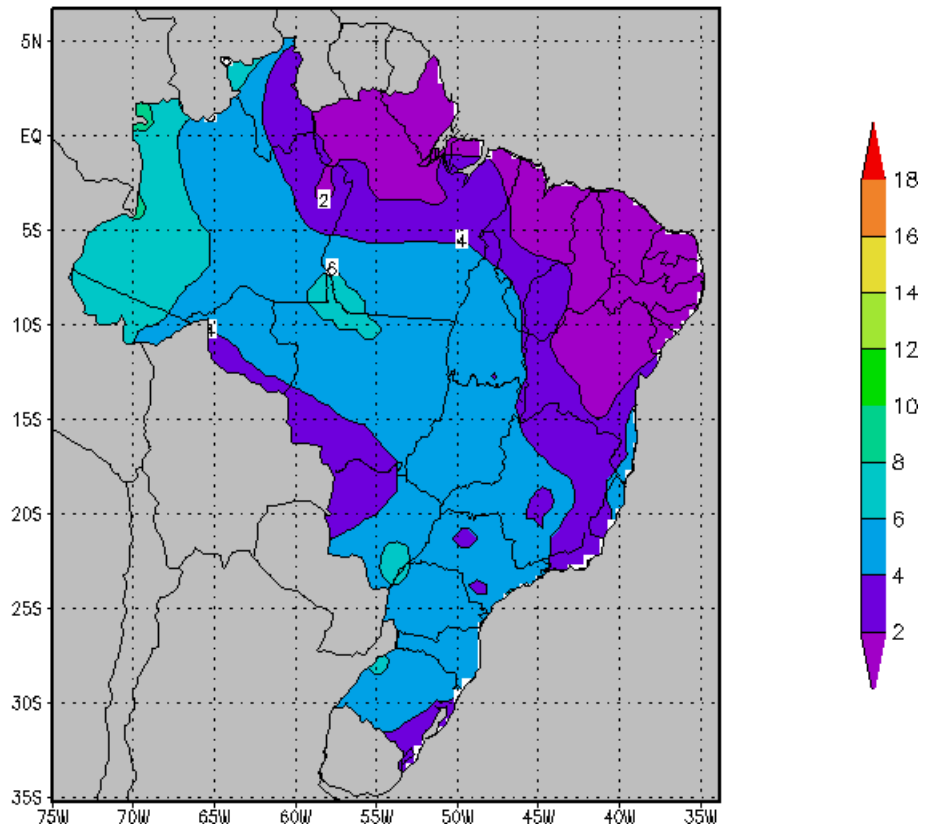
AGOSTO



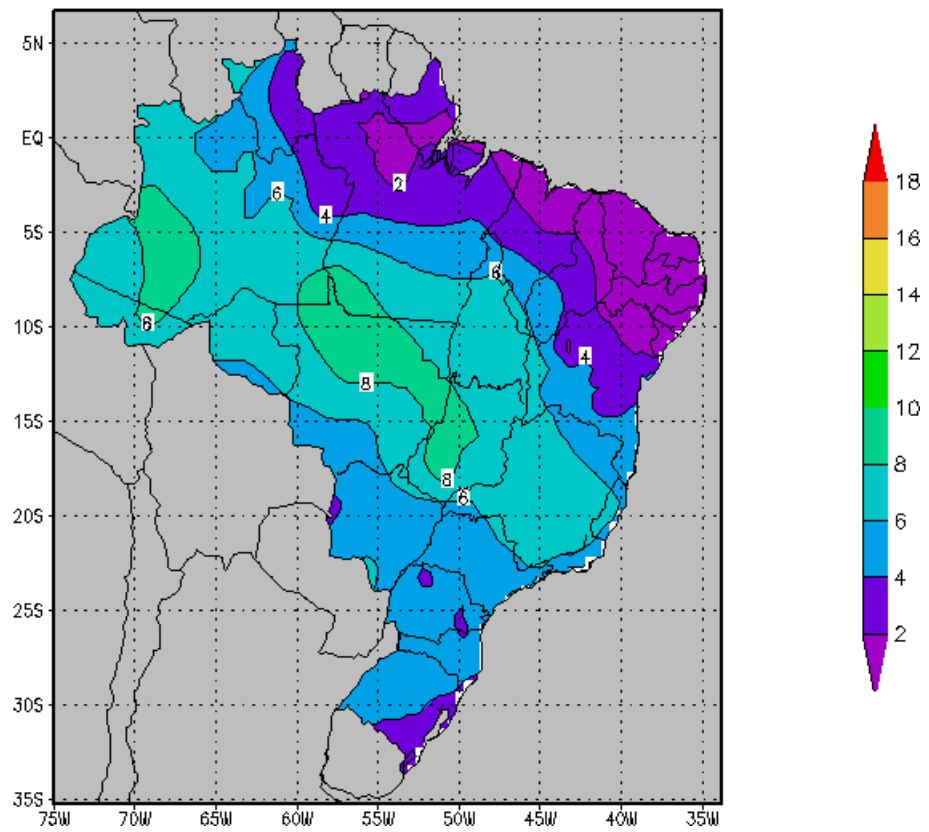
SETEMBRO



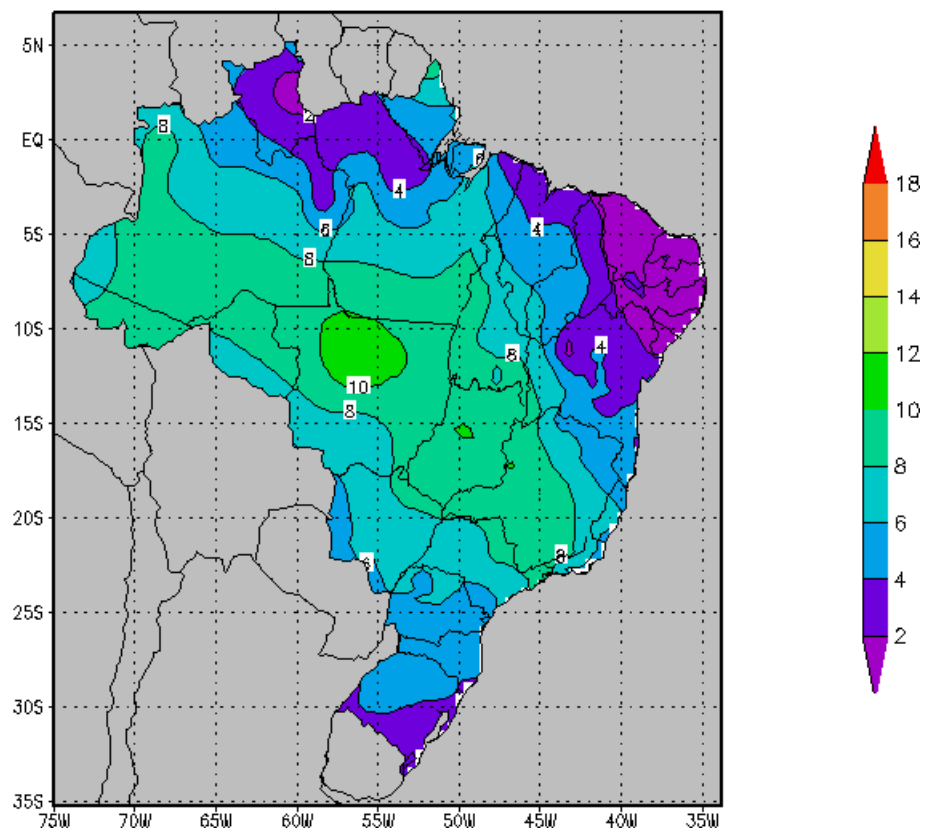
OUTUBRO



NOVEMBRO



DEZEMBRO



4.2.6. ITU – Índice de Temperatura e Umidade

Diversos índices térmicos ambientais foram criados com o objetivo de prever o conforto ou desconforto do animal em uma dada condição. A temperatura de bulbo seco e a umidade do ar têm sido fatores ambientais muito usados para a elaboração desses índices. O Índice de Temperatura e Umidade - ITU, originalmente desenvolvido por THOM (1959), é o mais conhecido e usado,

Sendo dado por:

$$\text{ITU} = \text{tbs} + 0,36 \text{ tpo} + 41,5 \quad (24)$$

em que

tbs = temperatura de bulbo seco, °C;

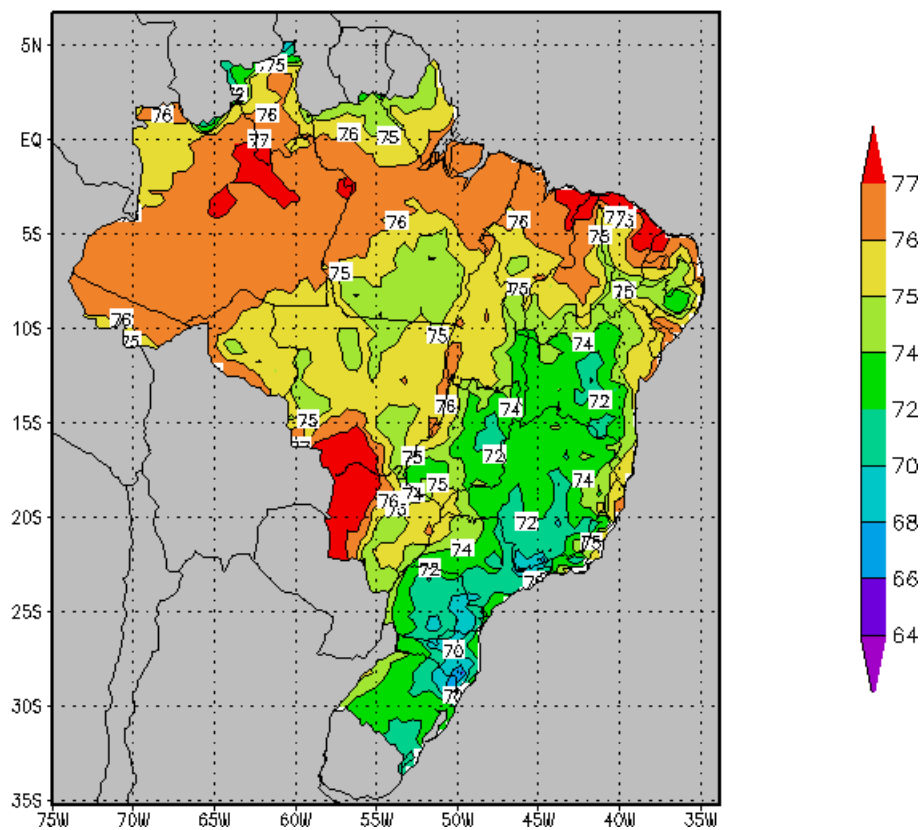
tpo = temperatura do ponto de orvalho, °C.

O ITU é um valor considerado adimensional, em que valores de até 74 representam ambientes confortáveis; de 74 a 78 exigem cuidado, alerta; de 79 a 84 são perigosos; e de 85 em diante - condição de emergência - podem causar a morte dos animais (NATIONAL WEATHER SERVICE, 1976)

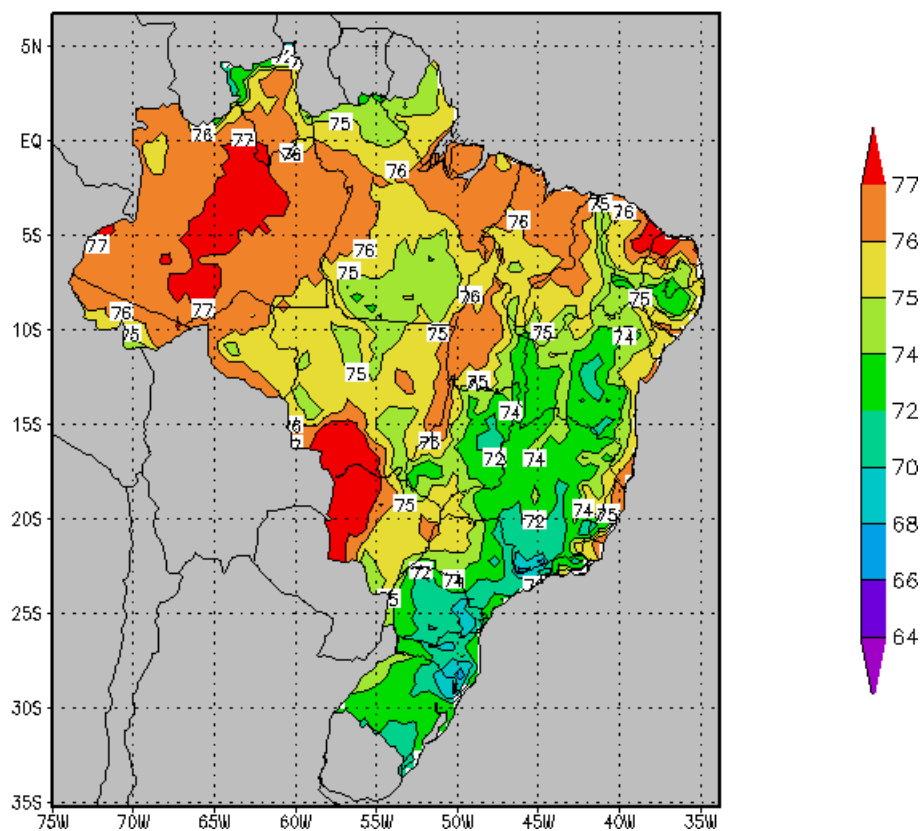
De acordo com HAHN (1985), um valor de ITU igual a 70 ou menos indica condição normal, não estressante; um valor entre 71 e 78 é crítico; entre 79 e 83 indica perigo e acima de 83 condição de emergência (podem causar a morte dos animais).

4.2.6.1. ITU - média do mês

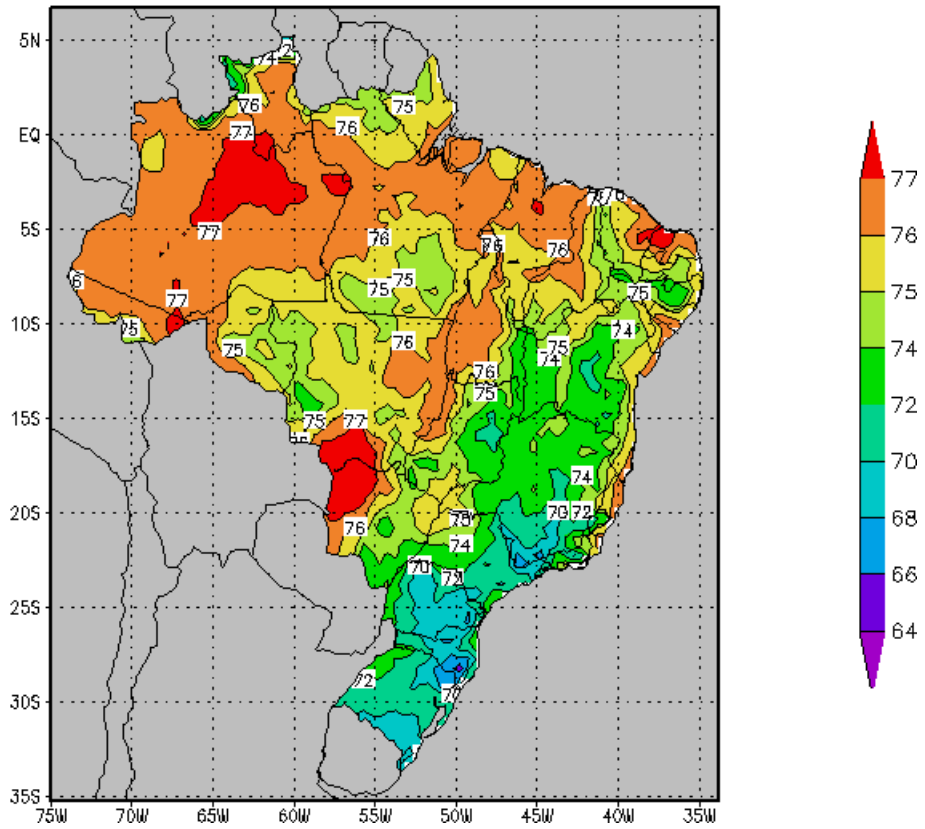
JANEIRO



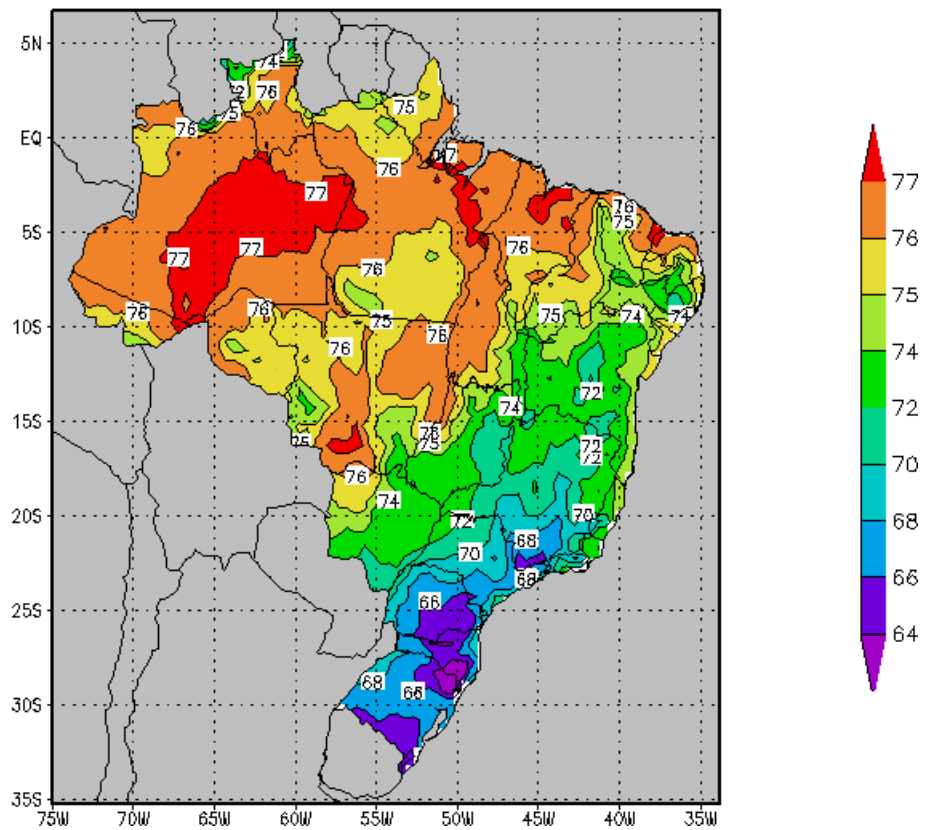
FEVEREIRO



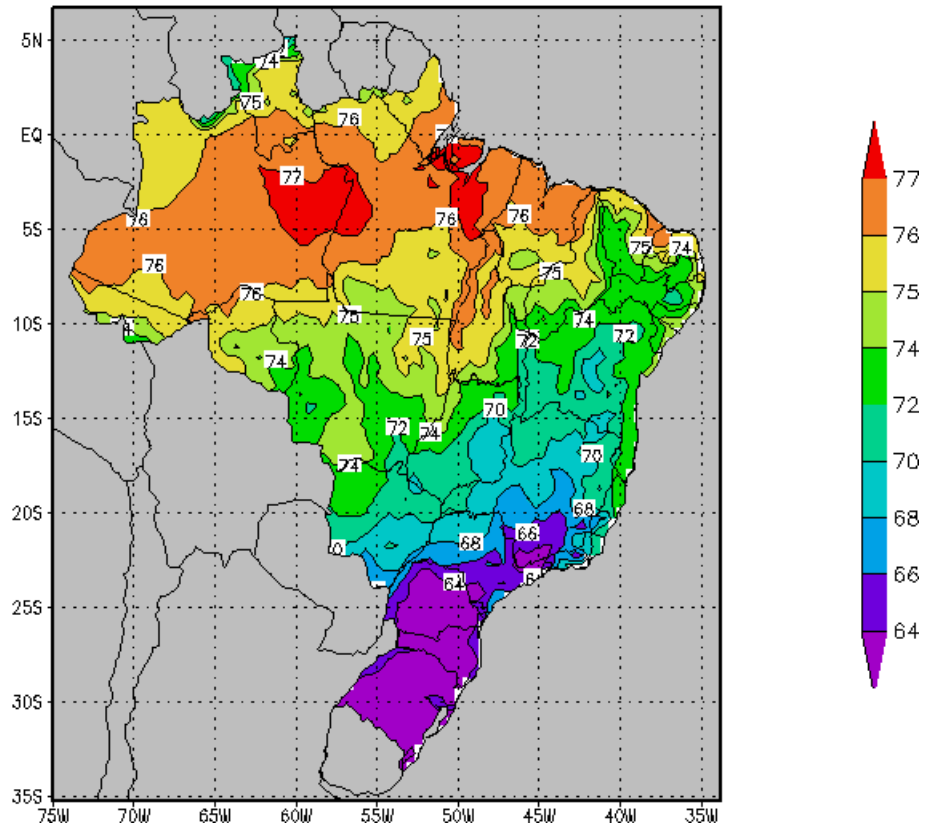
MARÇO



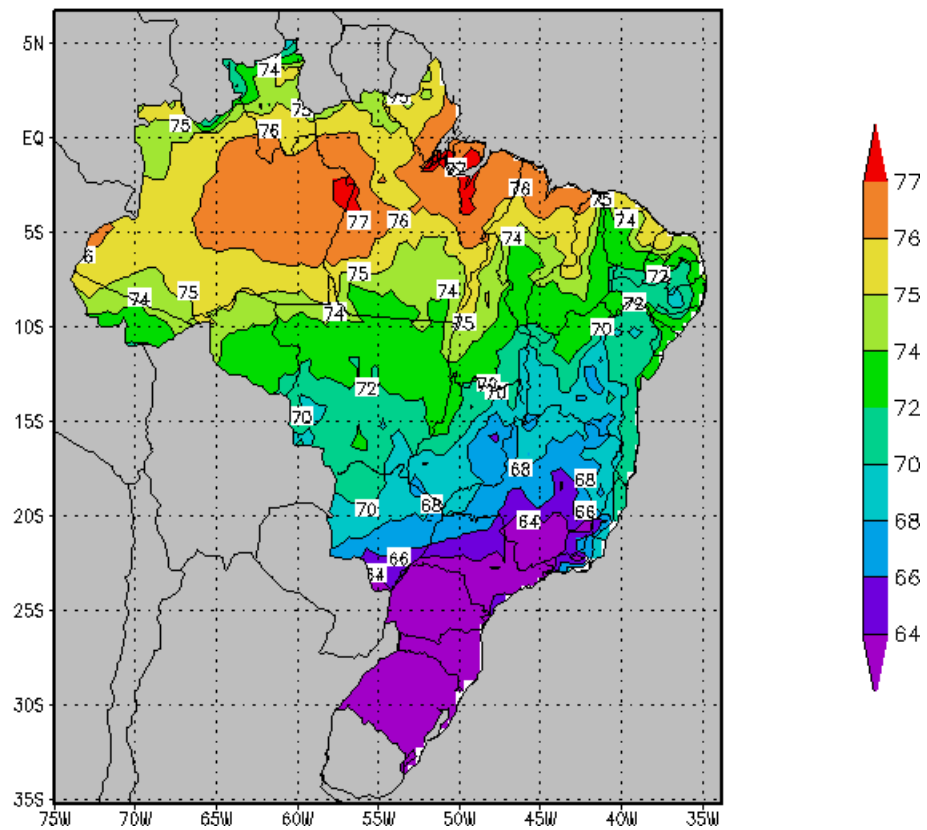
ABRIL



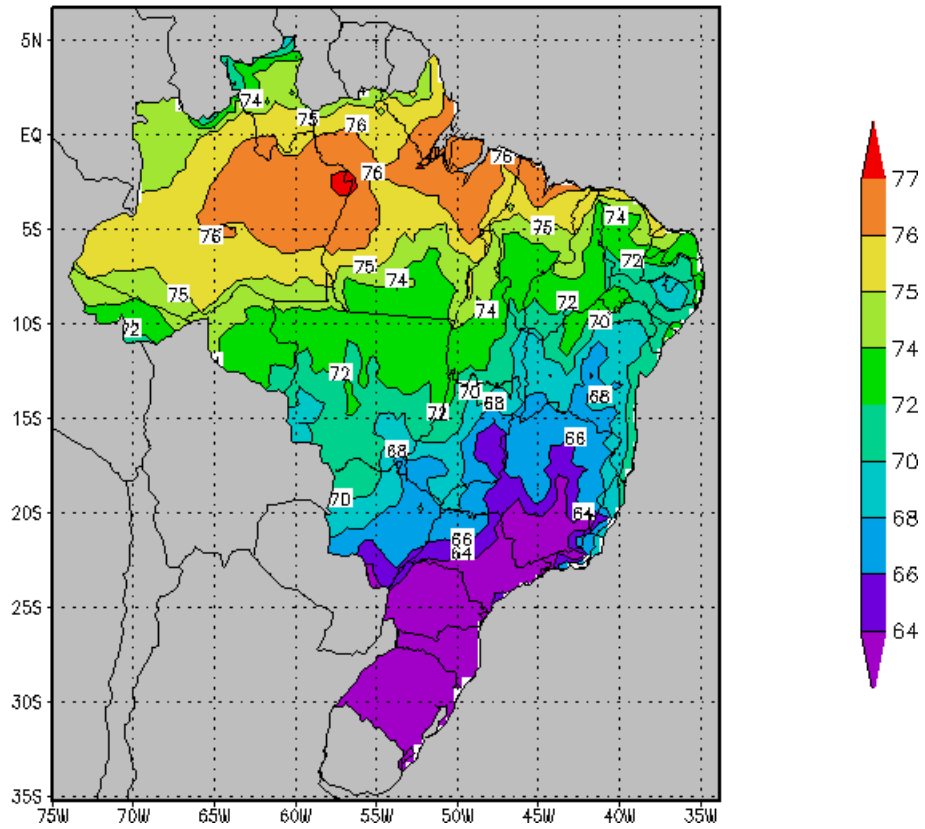
MAIO



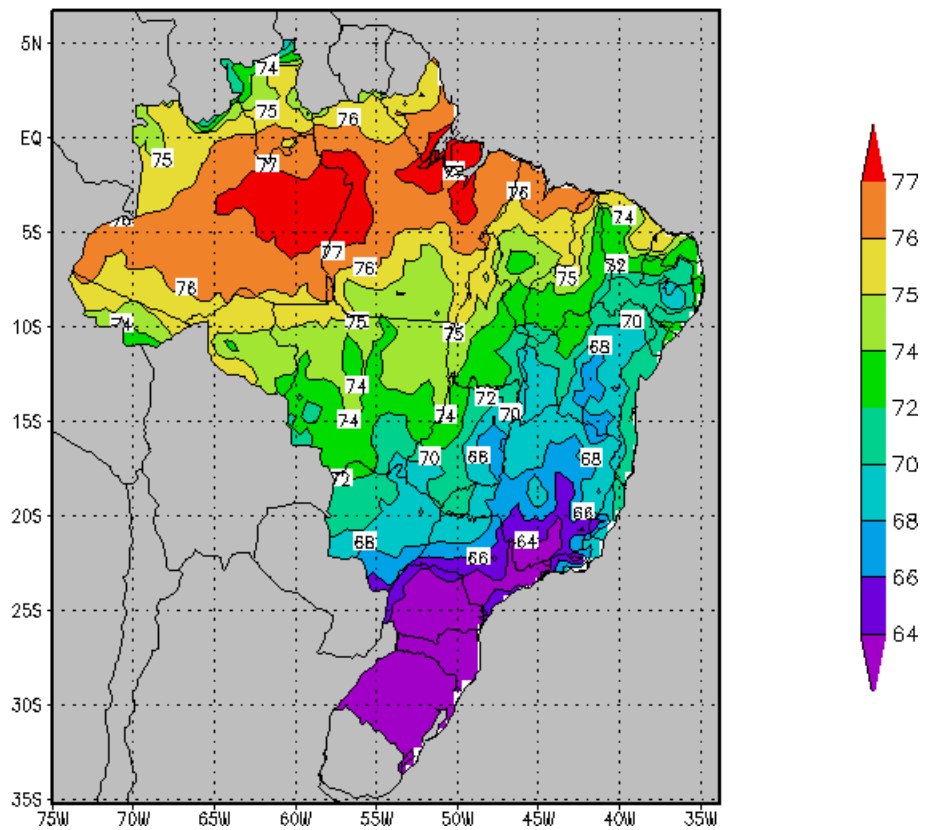
JUNHO



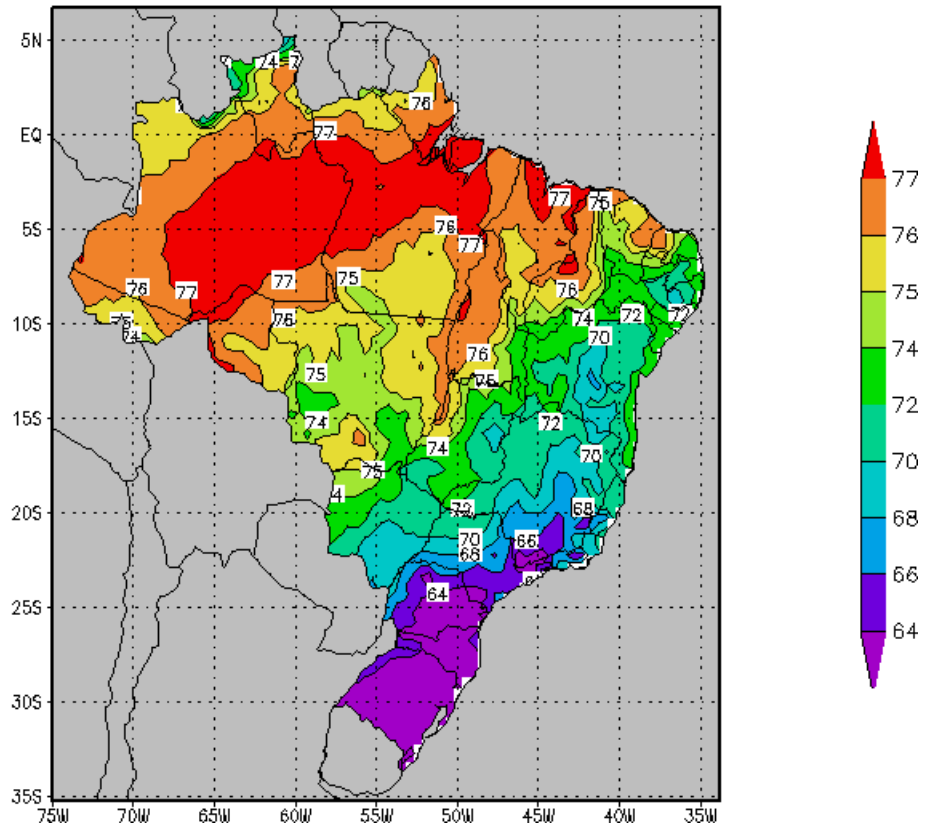
JULHO



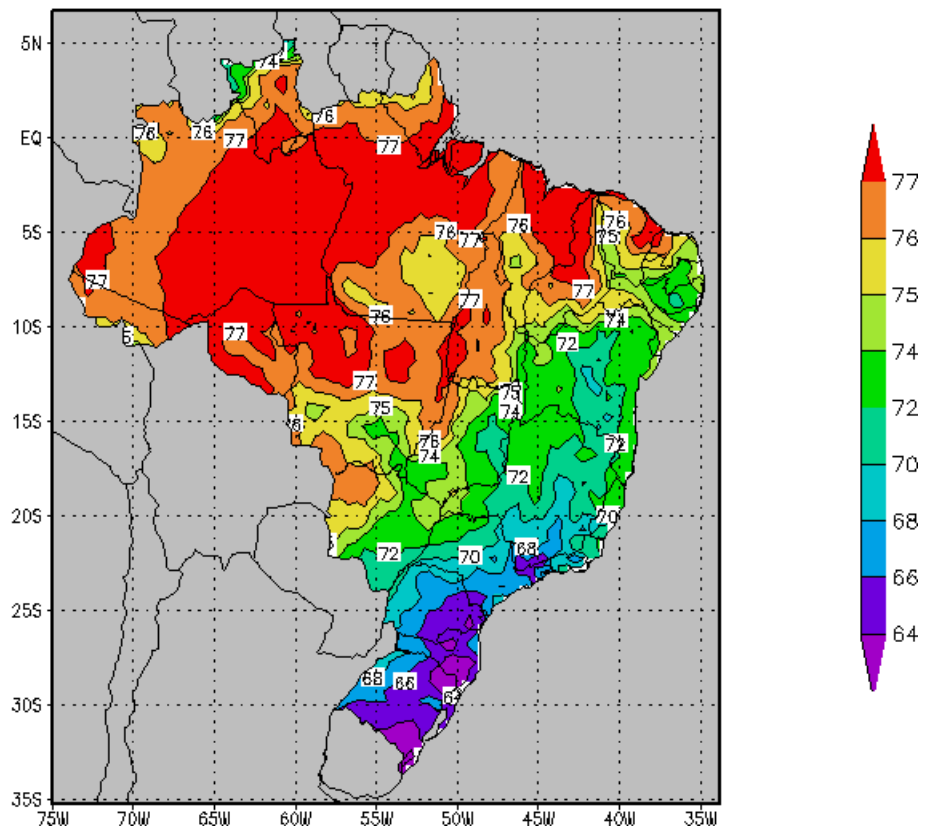
AGOSTO



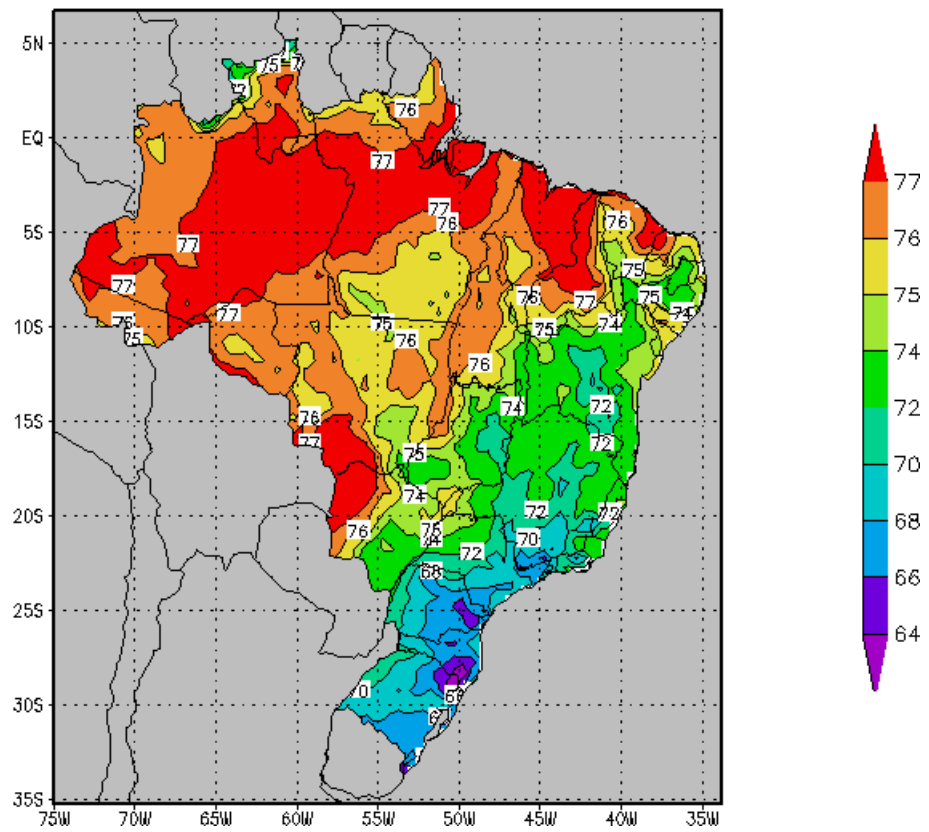
SETEMBRO



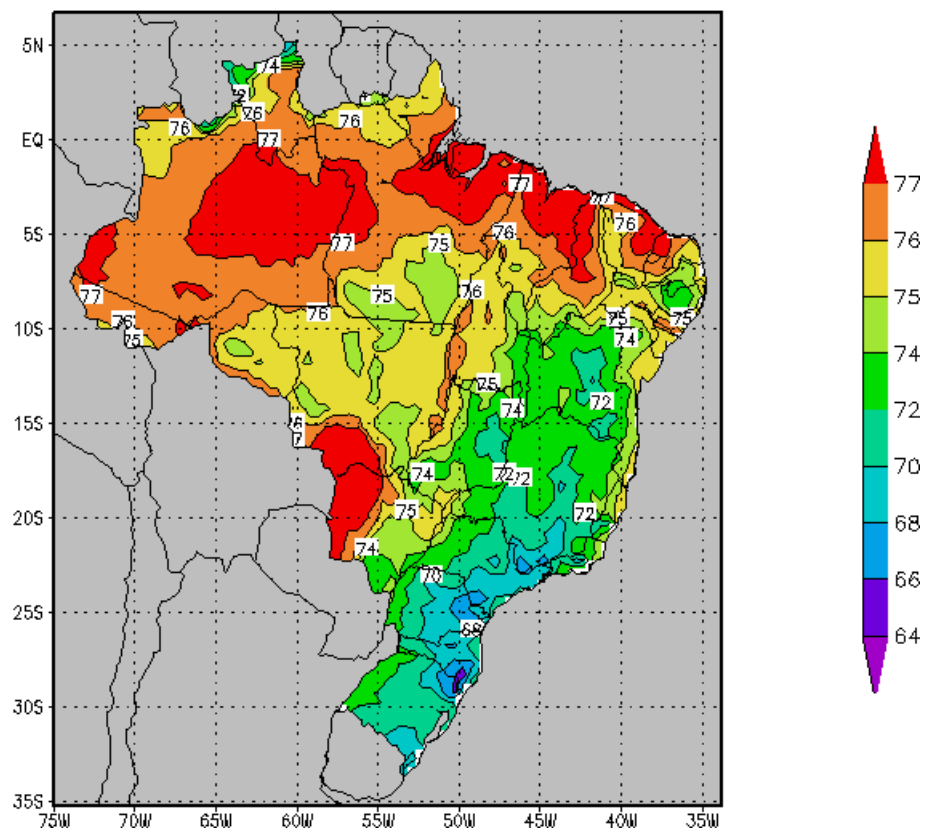
OUTUBRO



NOVEMBRO

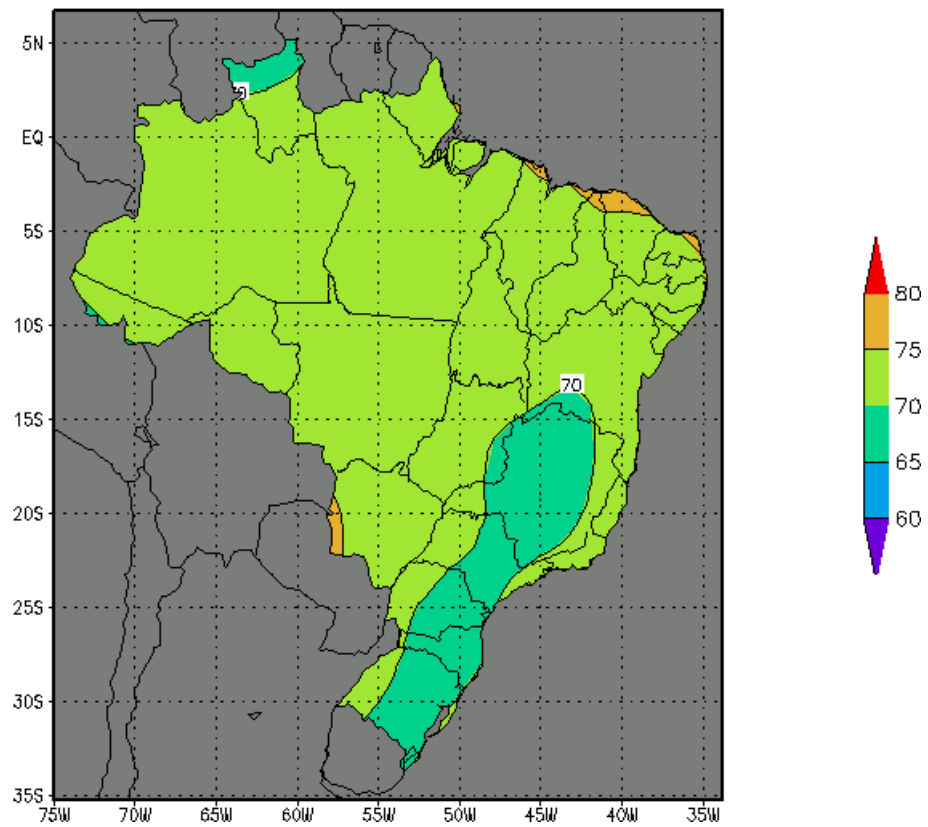


DEZEMBRO

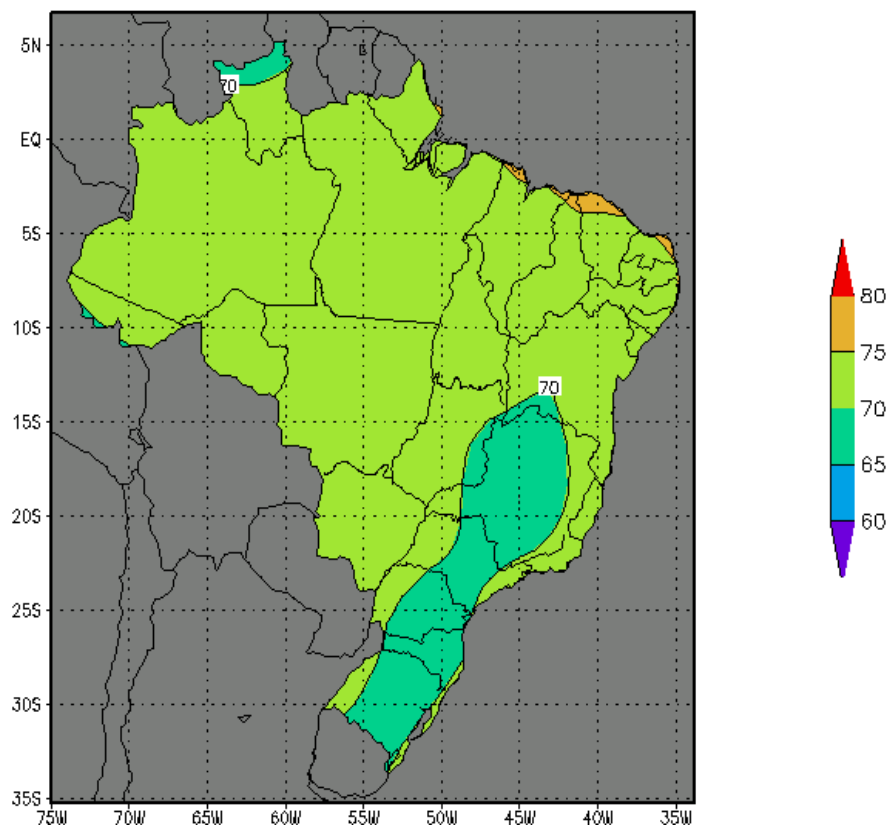


4.2.6.1. ITU - média entre as 09 horas e 15 horas

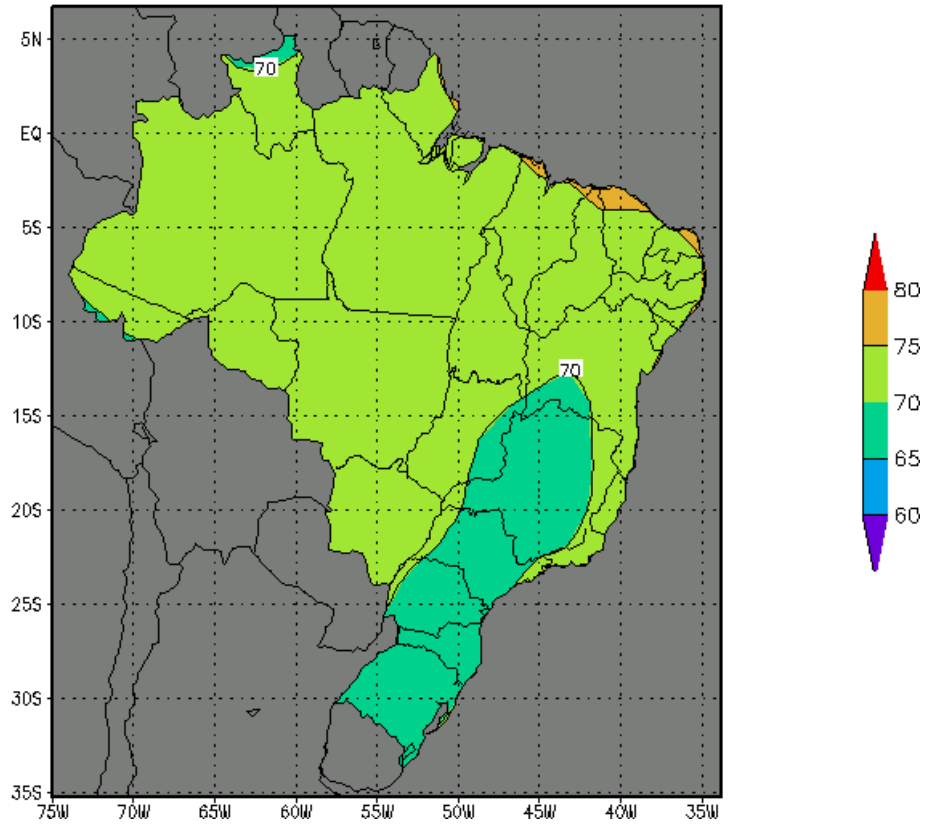
JANEIRO



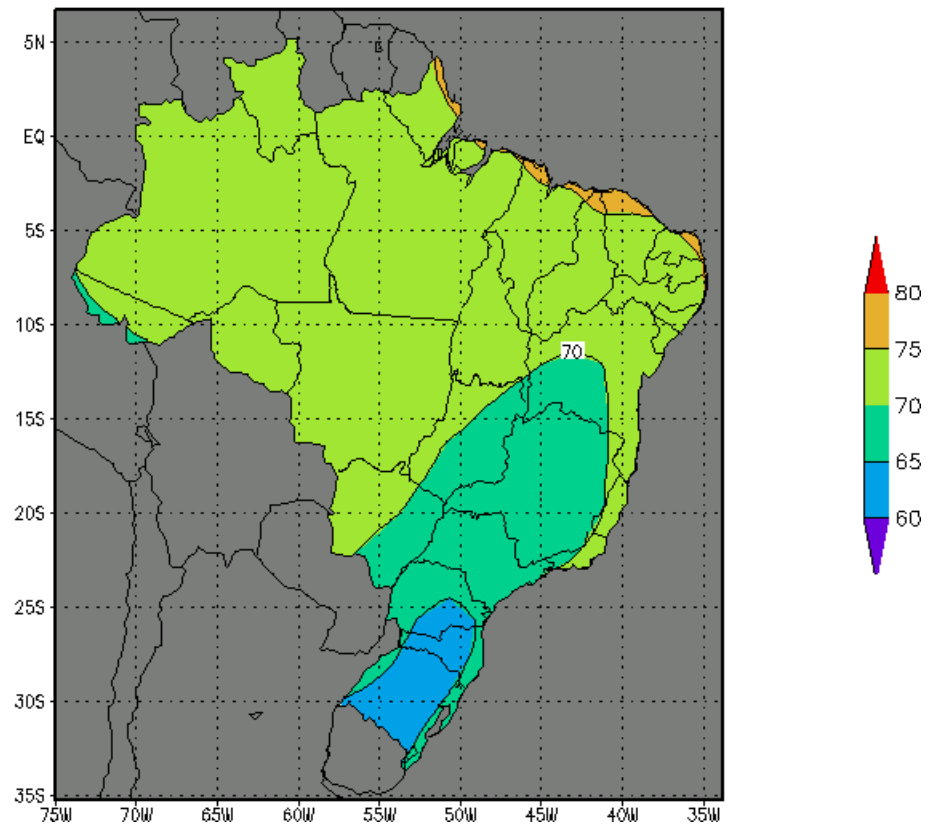
FEVEREIRO



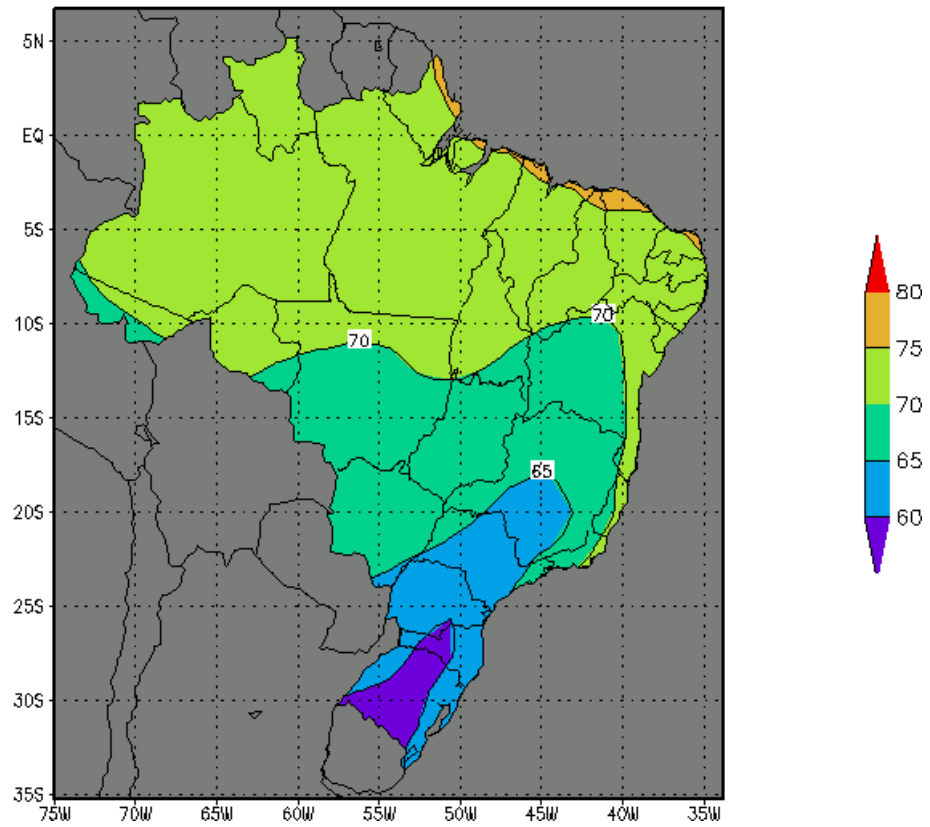
MARÇO



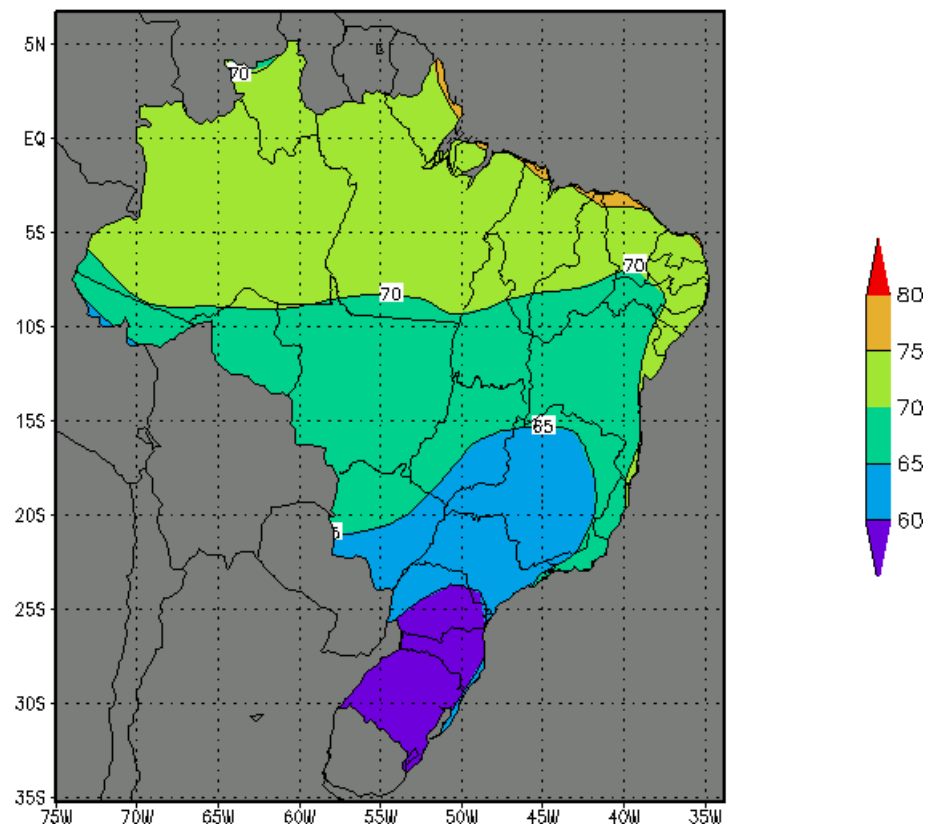
ABRIL



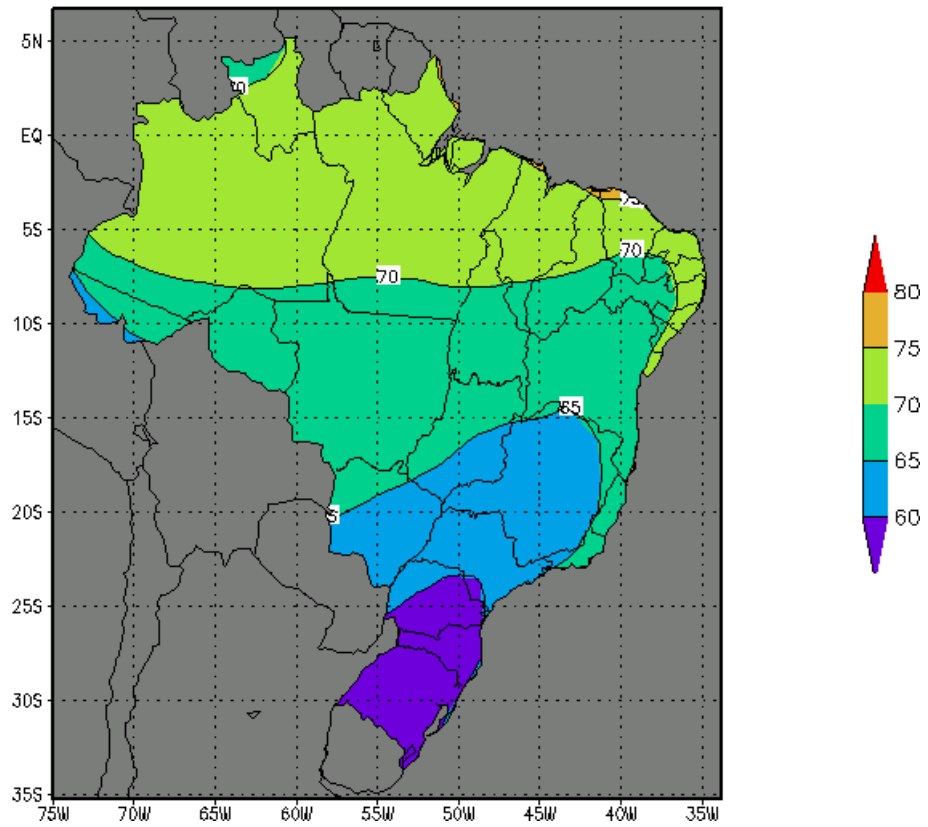
MAIO



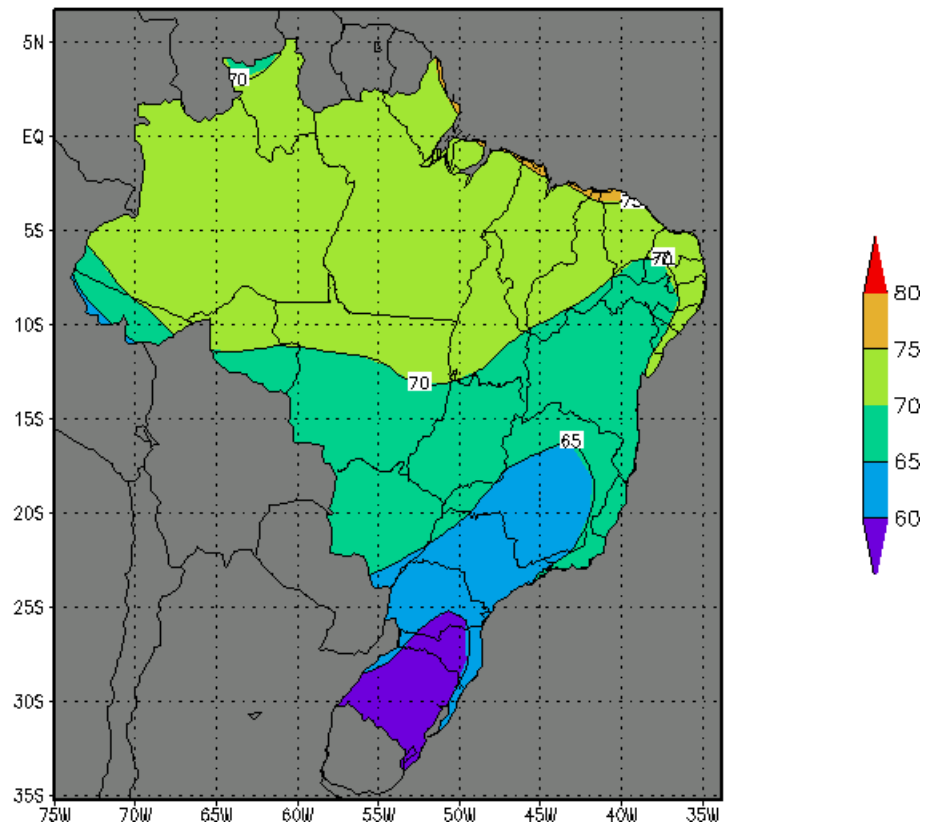
JUNHO



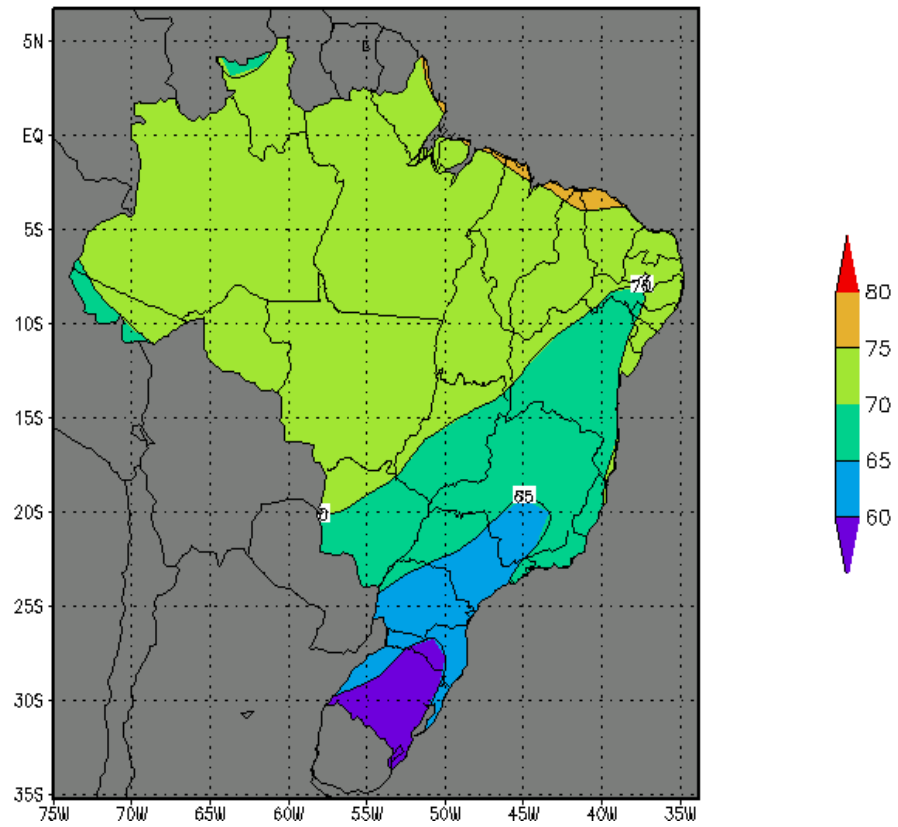
JULHO



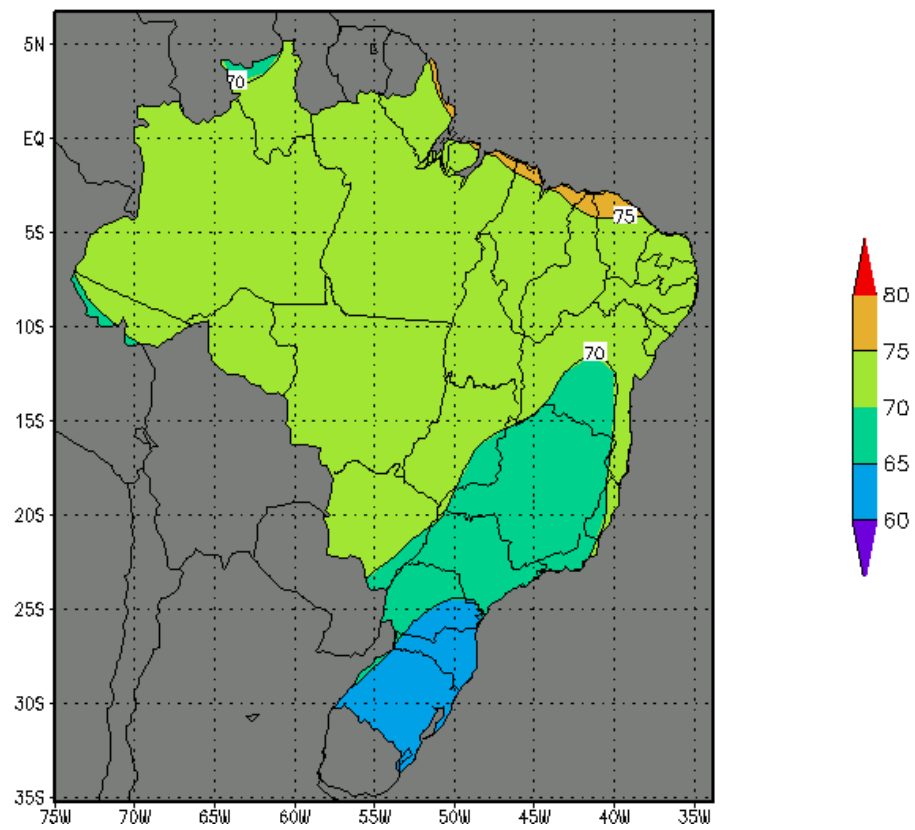
AGOSTO



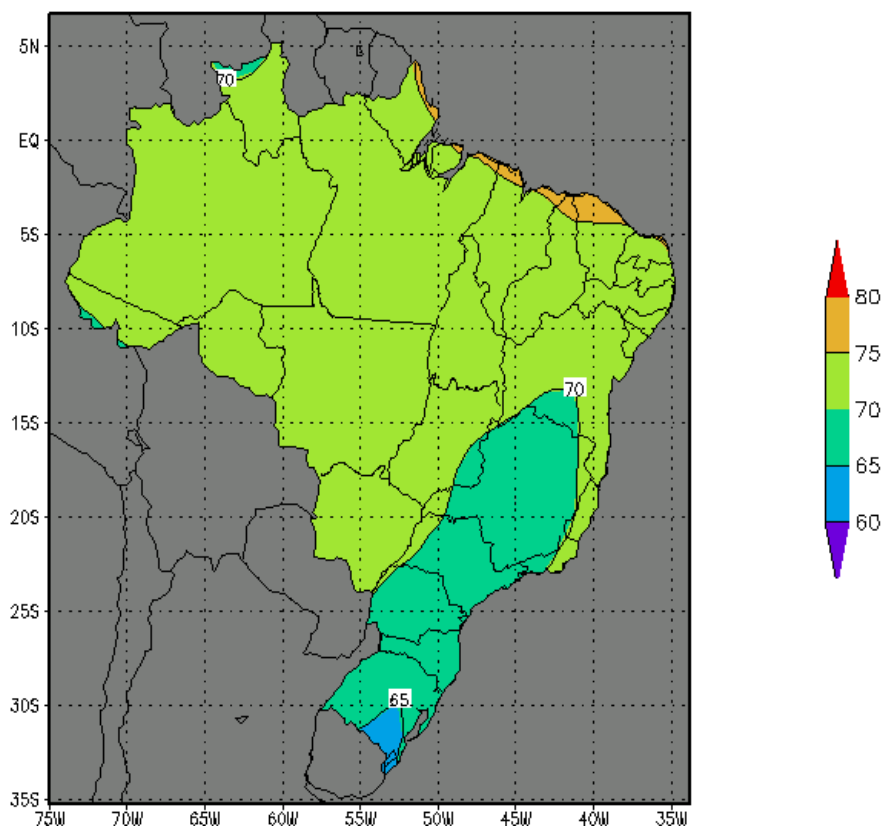
SETEMBRO



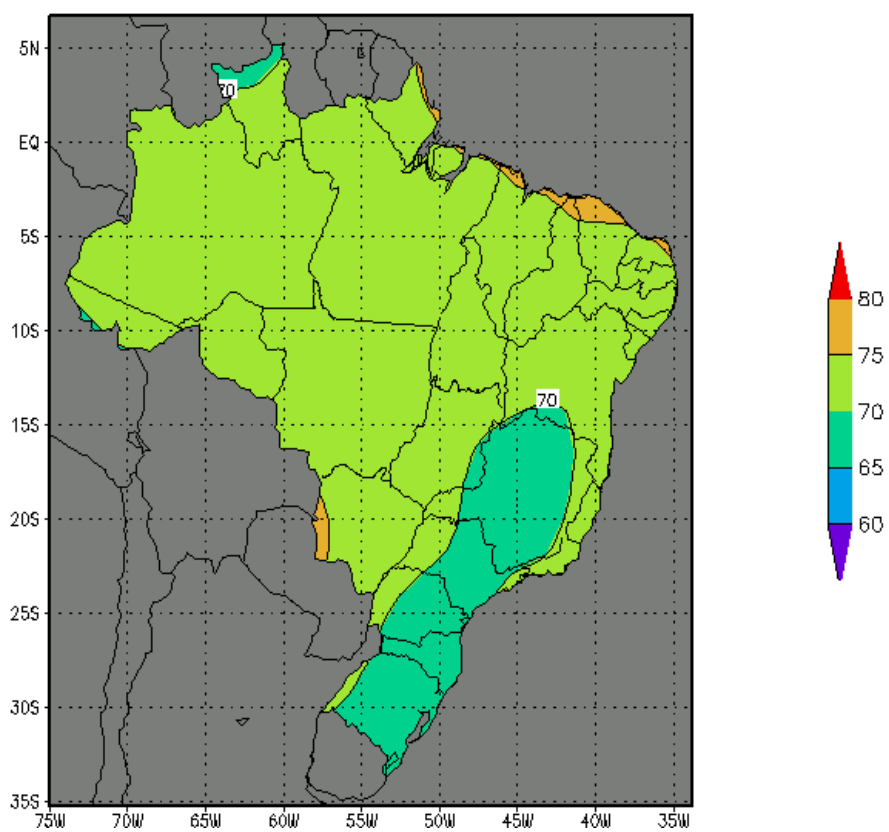
OUTUBRO



NOVEMBRO



DEZEMBRO



4.2.7. Dados de Simulação

Para simulação das condições ambientes no interior da instalação, foi utilizado o modelo de comportamento térmico desenvolvido por GATES et al. (1995) para galpões avícolas nos Estados Unidos com o acréscimo de um Δ correspondente ao calor sensível transferido através da estrutura da construção, tal como do telhado, das paredes, das portas, etc; proposto por SILVA (2003) .

O modelo proposto utiliza dados climáticos de temperatura e umidade relativa, produção de calor latente e sensível das aves alojadas, vazão mássica do ar e eficiência do sistema de resfriamento evaporativo, para cálculo da temperatura de bulbo seco e umidade no interior da instalação.

Para obtenção dos dados climáticos necessários foram utilizados dados climáticos da Re-análises 2 do NCEP/NCAR do período de 01.07.1979 à 30.6.2000 para o território brasileiro. As Re-análises 2 estão na grade gaussiana de 1,875 graus de resolução espacial e 6 horas de resolução temporal (0:00Z, 6:00Z,12:00Z,18:00Z). Para a obtenção de valores horários de umidade e temperatura para estudar o efeito e benefício da climatização da instalação pelo resfriamento evaporativo, foi adotada a metodologia alternativa proposta por ZOLNIER et al. (1996).

O tratamento dos dados foi feito e a implementação do modelo foi feito através de uma combinação de programas em FORTRAN 2003, C++ e um Sistema de Informações Geográficas , o Grid Analysis and Display System.

Na Tabela 2 abaixo temos a média por mensal de ITU para cada região do Brasil no interior de uma instalação com sistema de resfriamento evaporativo constituído de painéis evaporativos de celulose com eficiência de 70% em relação a uma instalação sem resfriamento.

Estes resultados referem-se a um galpão com 21.000 (vinte um mil) frangos de corte com massa de 1,89 kg cada, alojados e vazão mássica de 120,8 kg de ar por segundo.

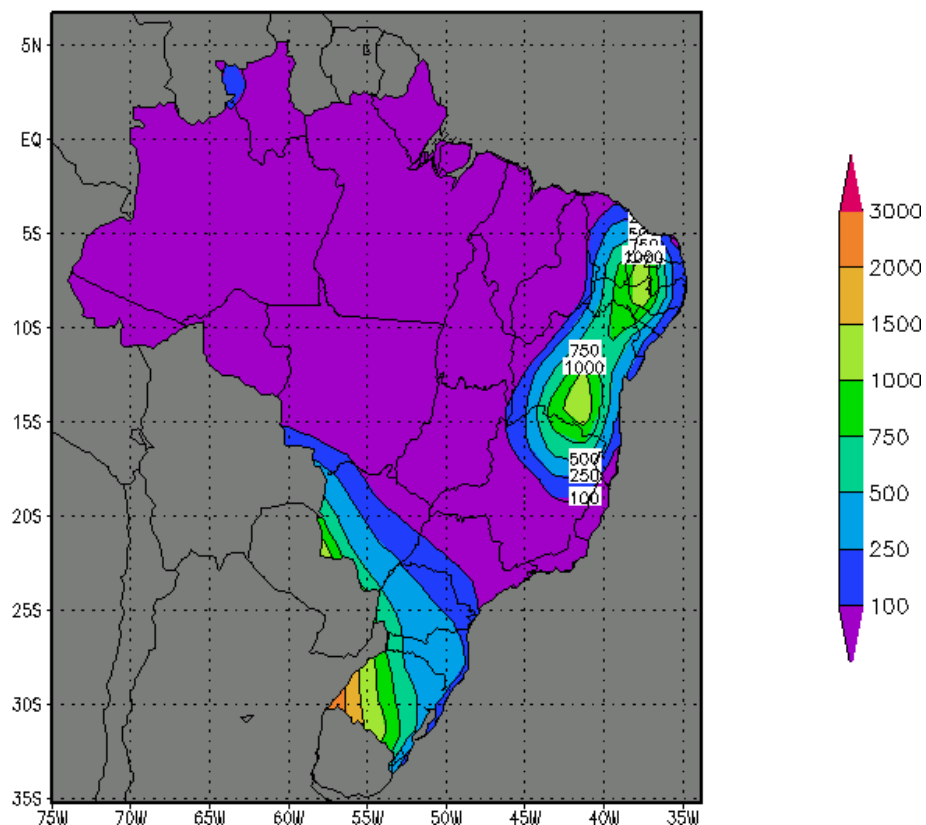
Tabela 2 - Média por mensal de ITU para cada região do Brasil no interior de uma instalação com sistema de resfriamento evaporativo.

	Norte	Nordeste	Sudeste	Centro-oeste	Sul
Janeiro	77,8	77,1	75,1	77,0	74,4
Fevereiro	77,9	77,1	75,1	76,8	74,5
Março	78,1	77,3	74,7	76,7	73,3
Abril	78,1	77,1	73,4	75,6	70,6
Maio	77,7	76,3	71,3	73,4	67
Junho	76,9	75,1	69,2	71,4	64,4
Julho	76,3	74,4	68,6	70,5	64,1
Agosto	77,1	74,7	69,6	72,0	65,7
Setembro	77,9	75,5	70,9	73,6	66,4
Outubro	78,1	76,4	72,7	75,8	69,3
Novembro	78,1	76,9	73,7	76,5	71,3
Dezembro	78,1	77,2	74,7	77,0	73,3

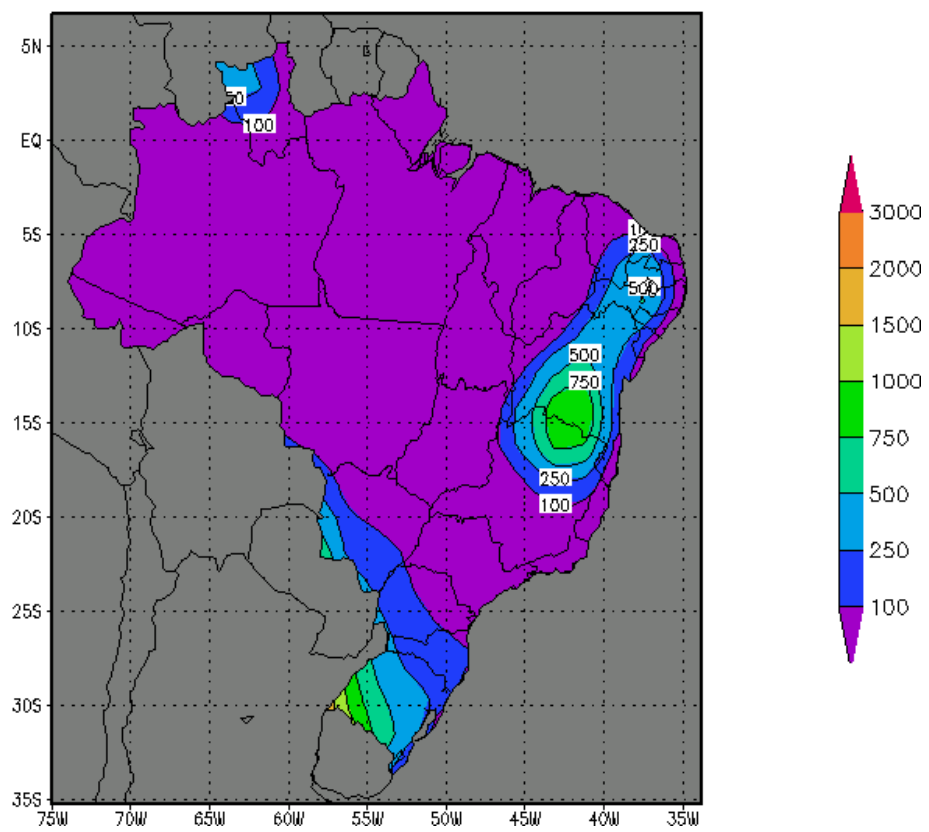
4.2.7.1. Número de horas vezes o número de graus C a menos no interior de uma instalação com sistema de resfriamento em comparação com outra sem sistema de resfriamento. (C° x Horas)

Número de horas vezes o número de graus C a menos no interior de uma instalação com sistema de resfriamento evaporativo constituído de painéis evaporativos de celulose com eficiência de 70% em relação a uma instalação sem resfriamento. Estes resultados referem-se a um galpão com 21.000 (vinte um mil) frangos de corte com massa de 1,89 kg cada, alojados e vazão mássica de 120,8 kg de ar por segundo.

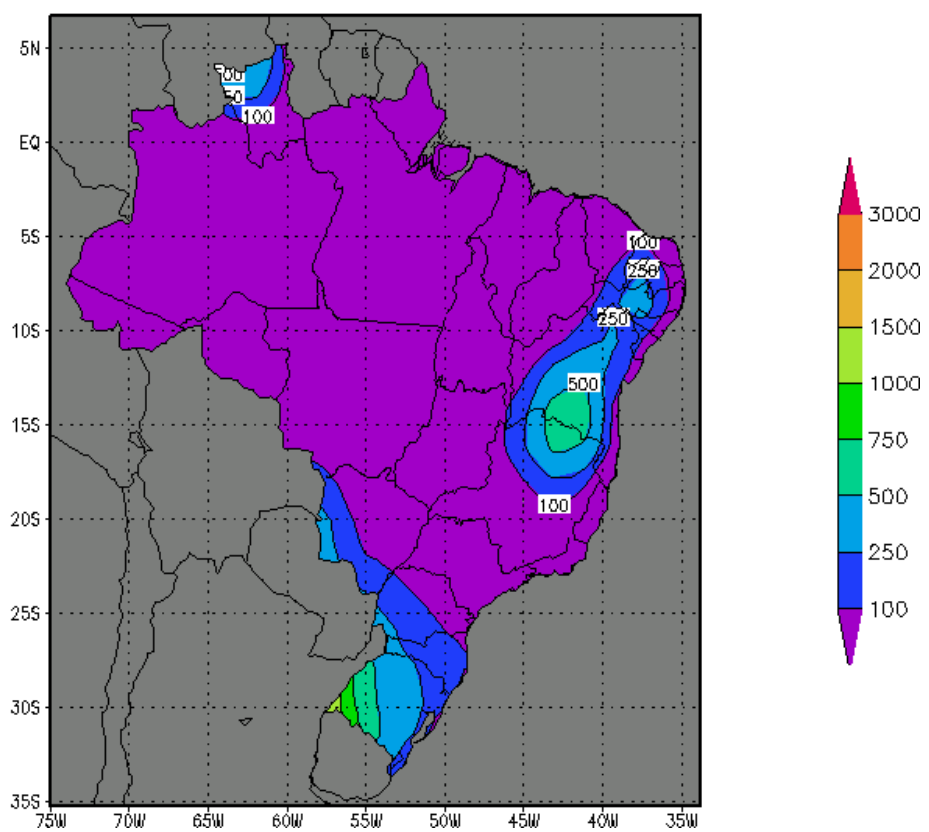
JANEIRO



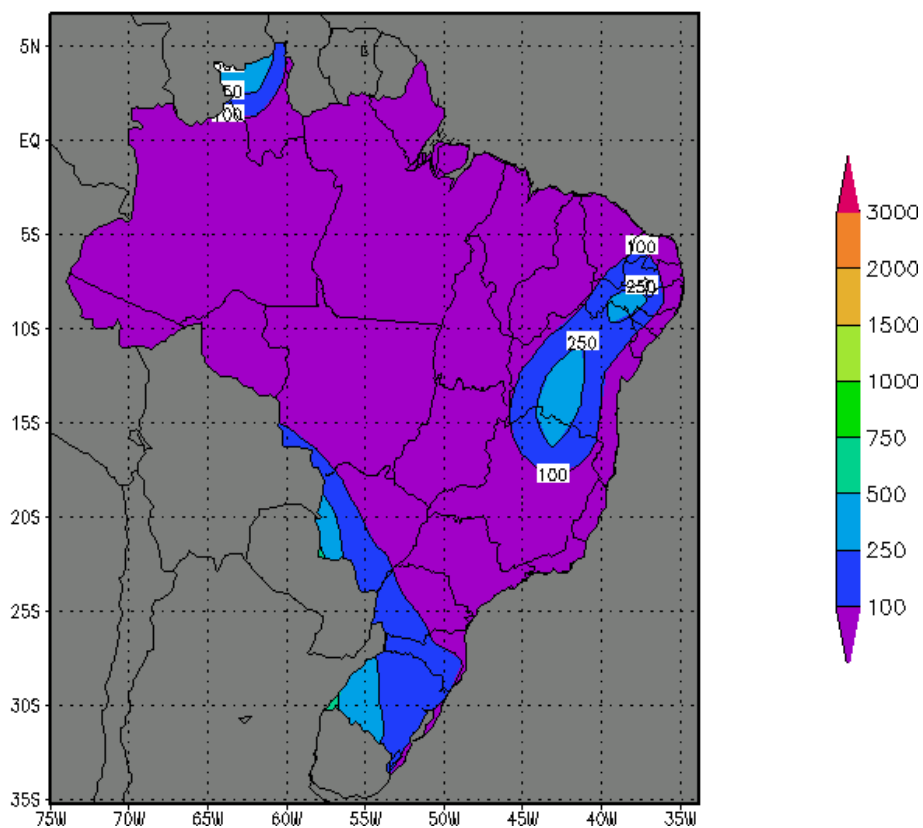
FEVEREIRO



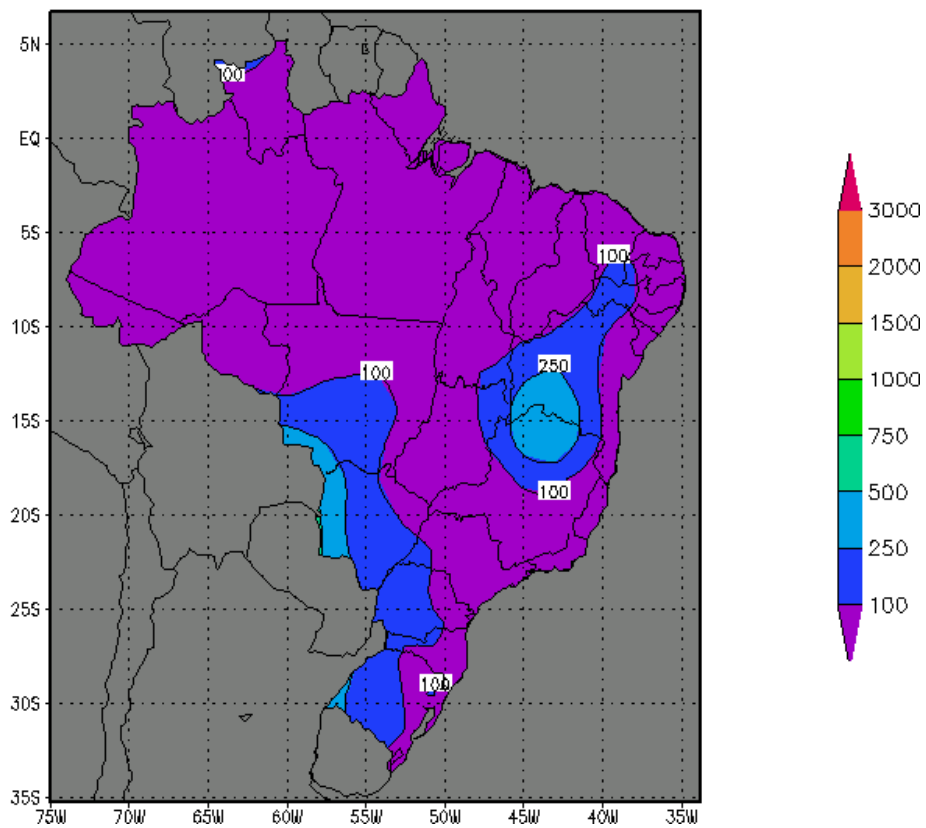
MARÇO



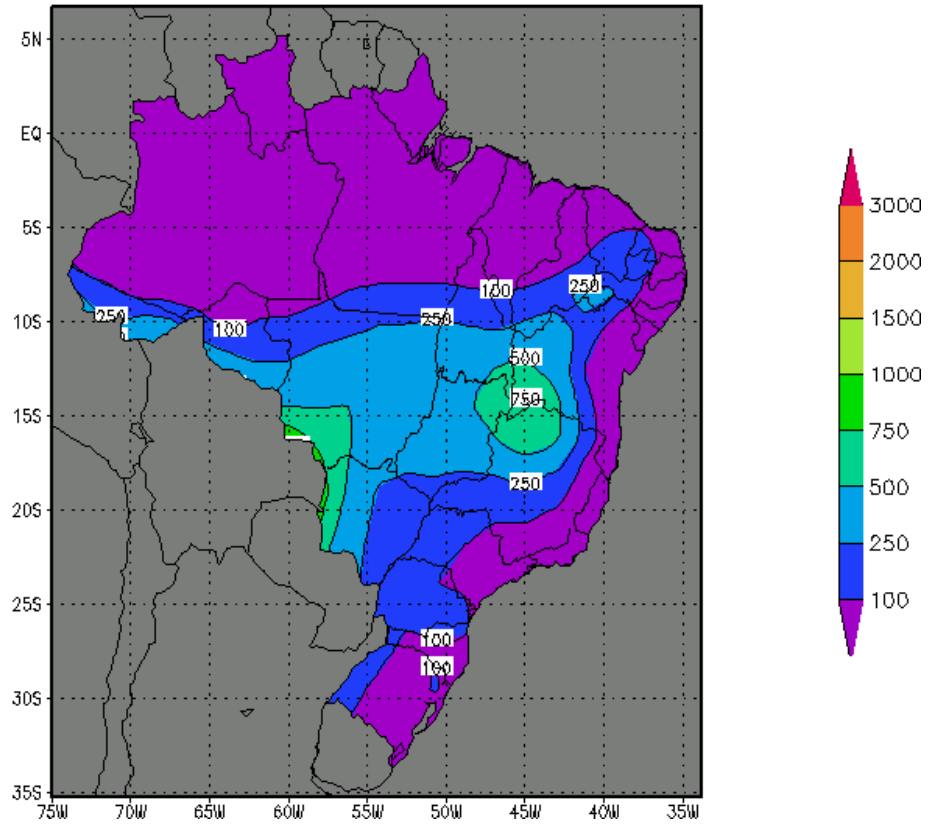
ABRIL



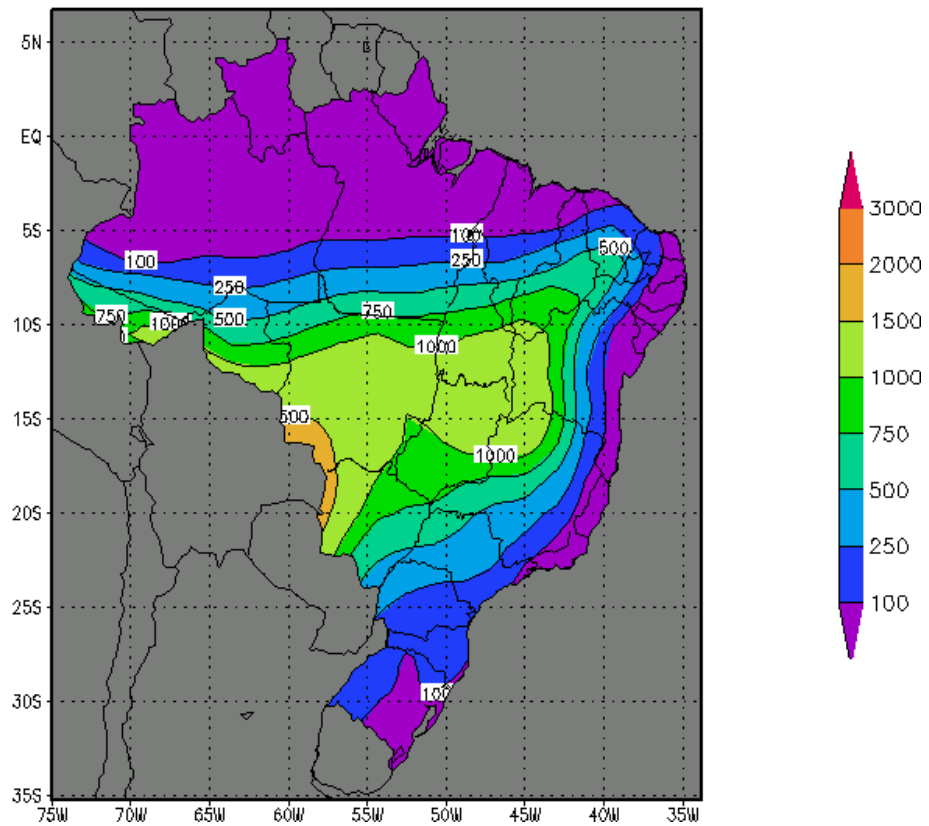
MAIO



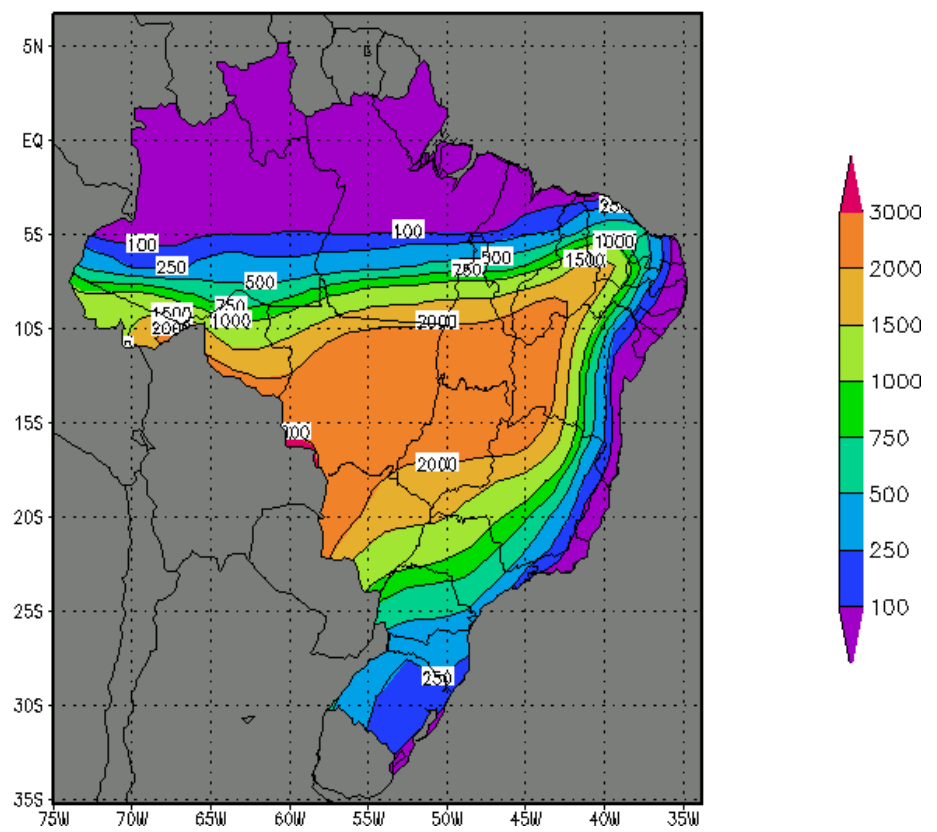
JUNHO



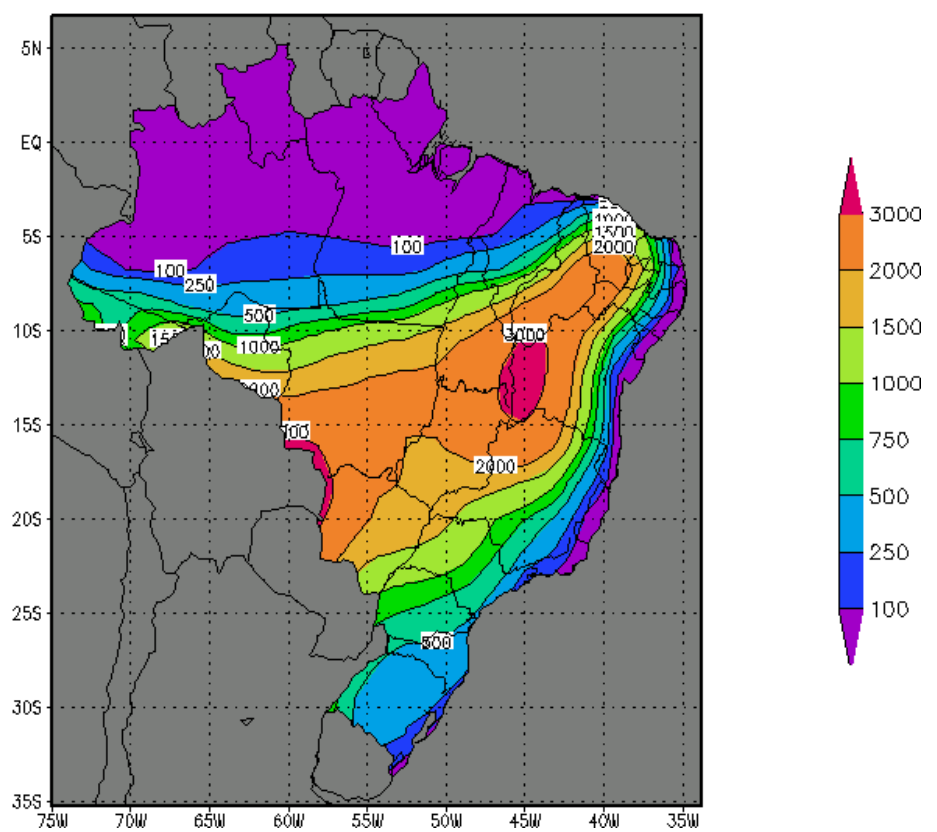
JULHO



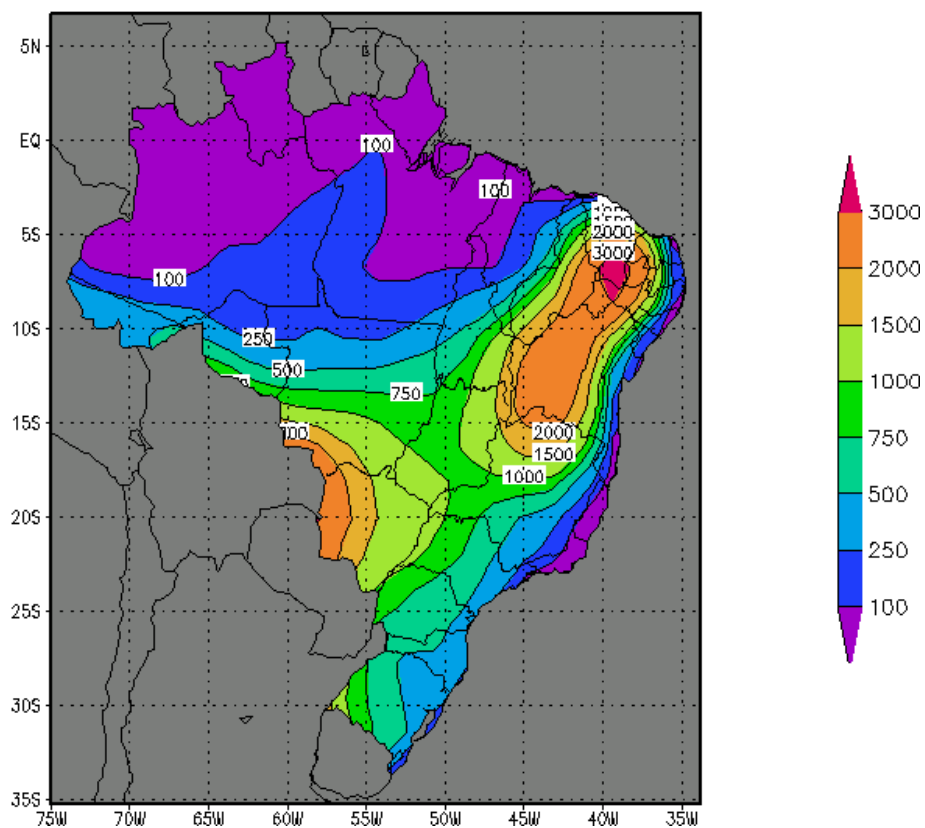
AGOSTO



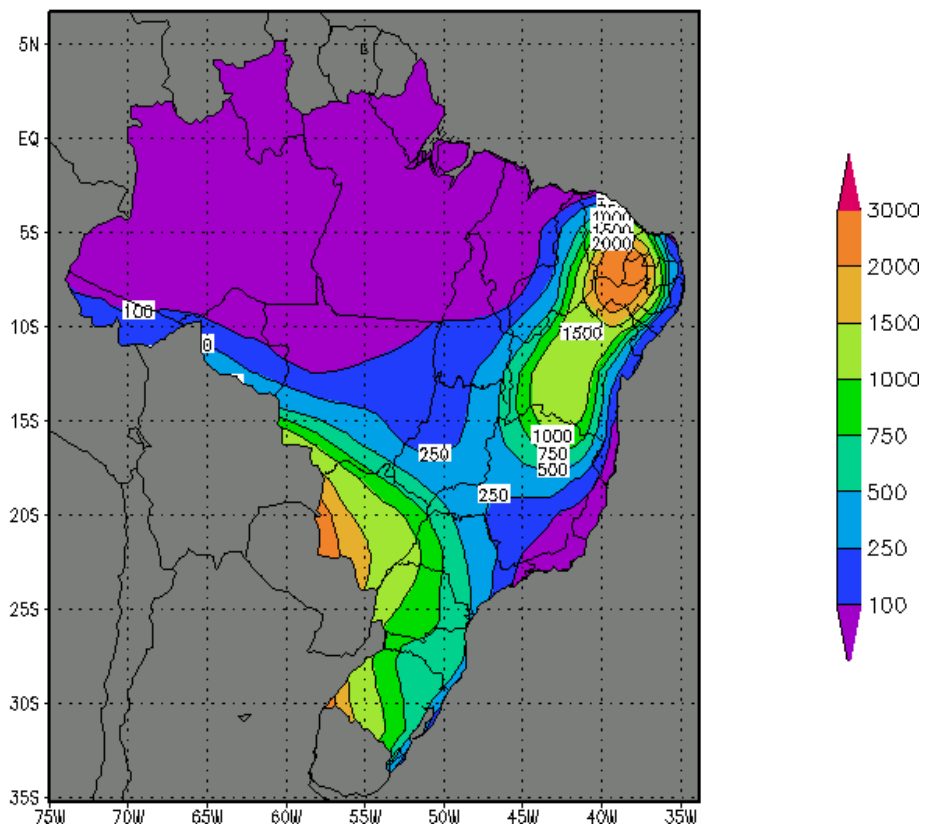
SETEMBRO



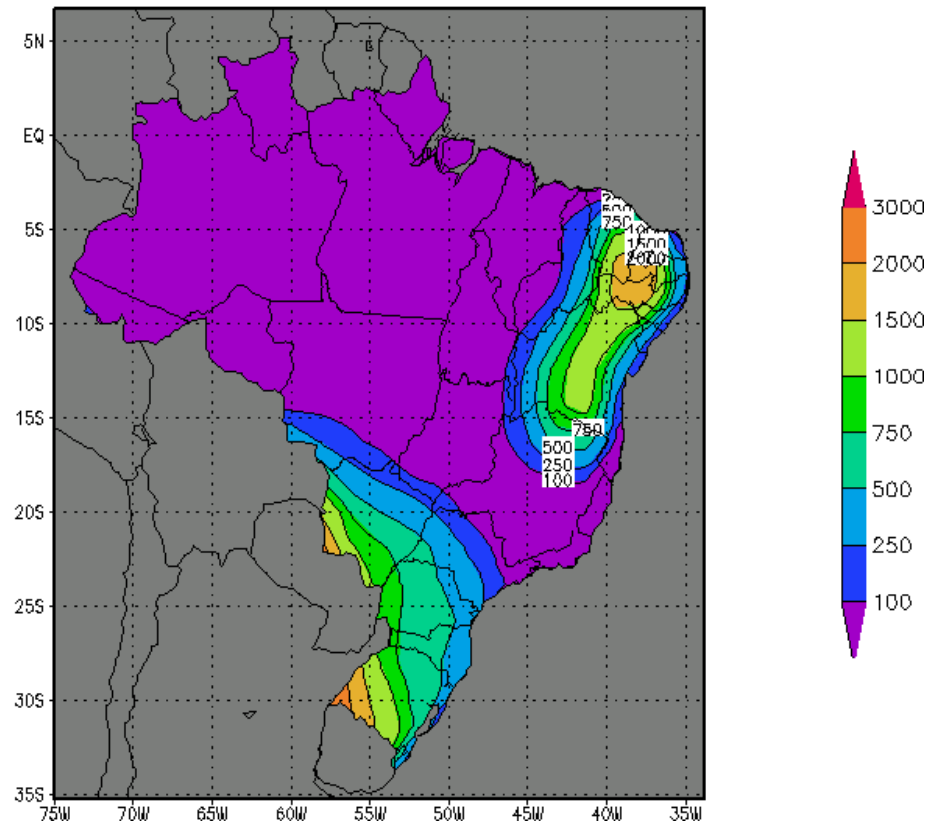
OUTUBRO



NOVEMBRO



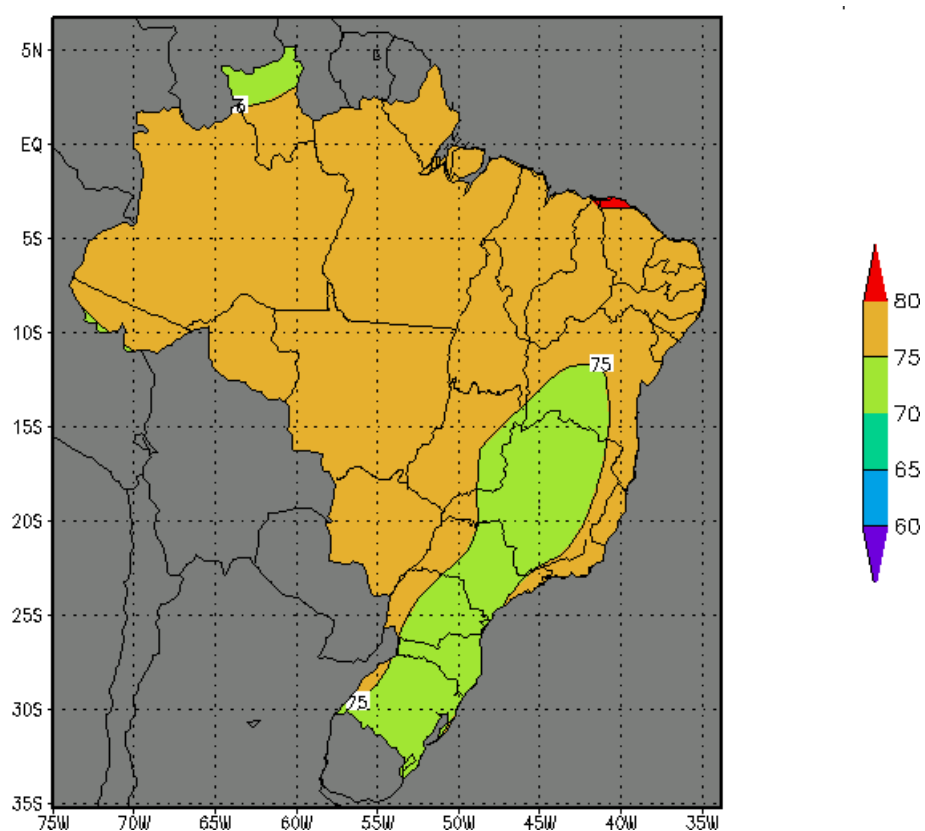
DEZEMBRO



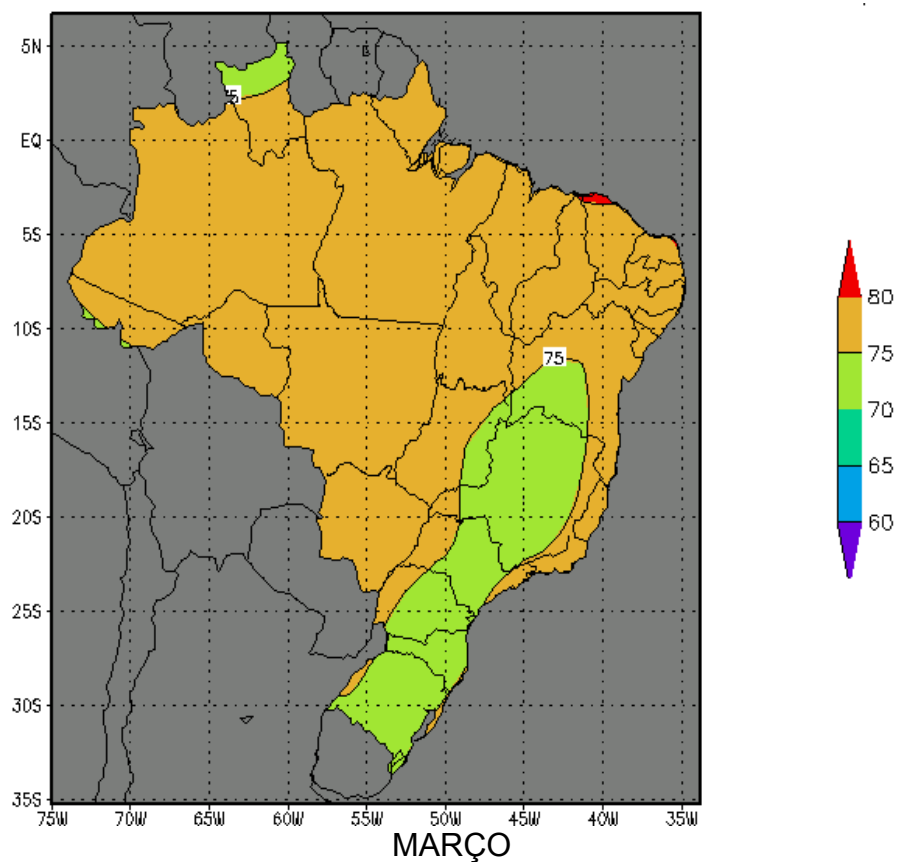
4.2.7.2. ITU - média entre as 09 horas e 15 horas dentro de uma instalação com resfriamento.

Estes resultados referem-se a um galpão com sistema de resfriamento evaporativo constituído de painéis evaporativos de celulose com eficiência de 70%, tendo 21.000 (vinte um mil) frangos de corte com massa de 1,89 kg cada alojados e vazão mássica de 120,8 kg de ar por segundo.

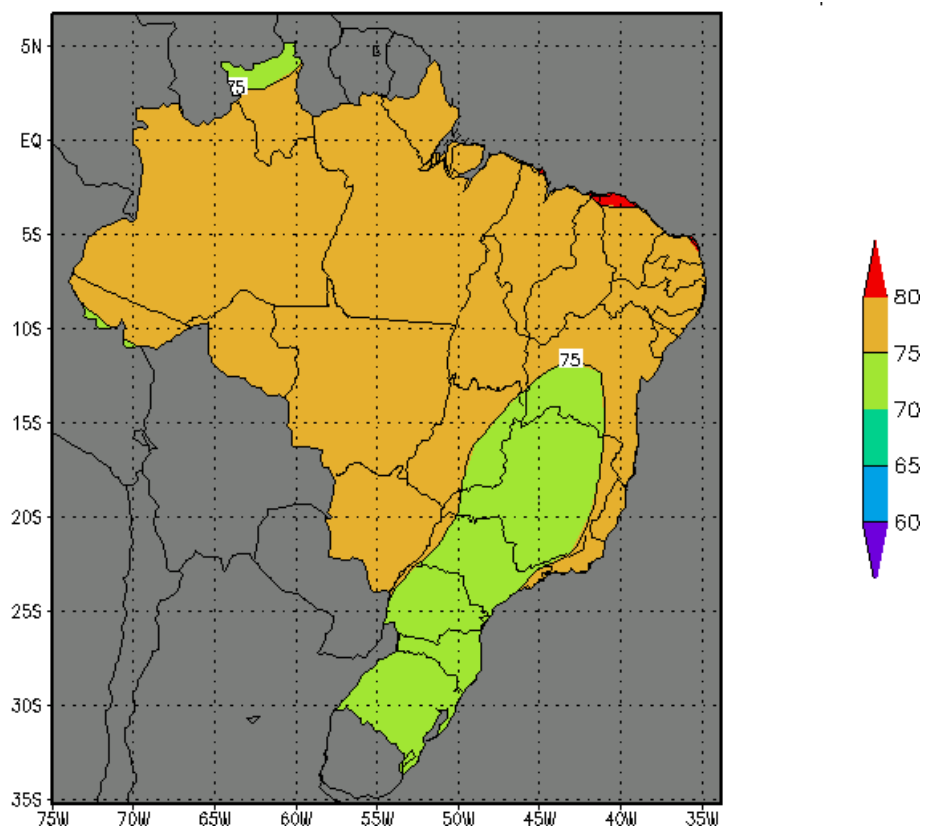
JANEIRO



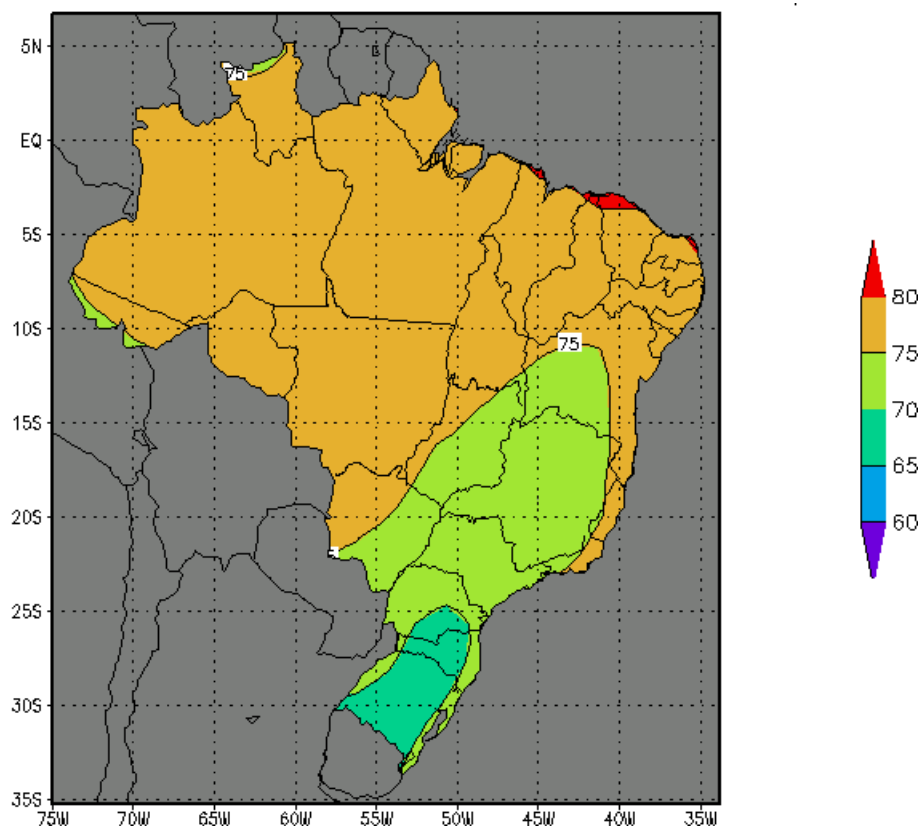
FEVEREIRO



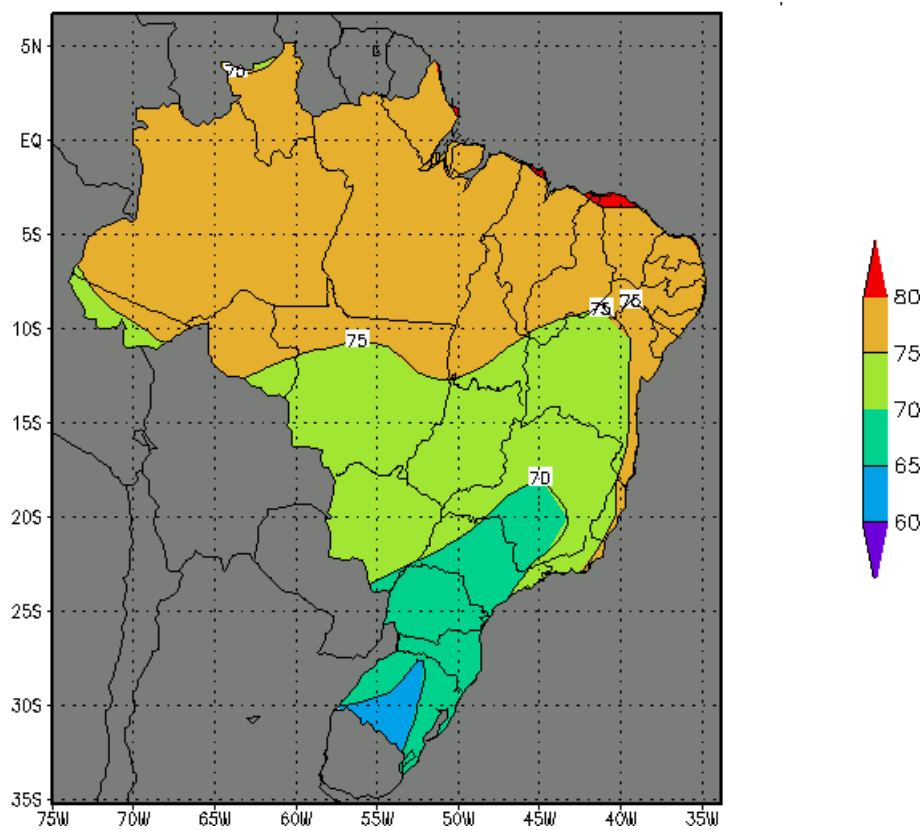
MARÇO



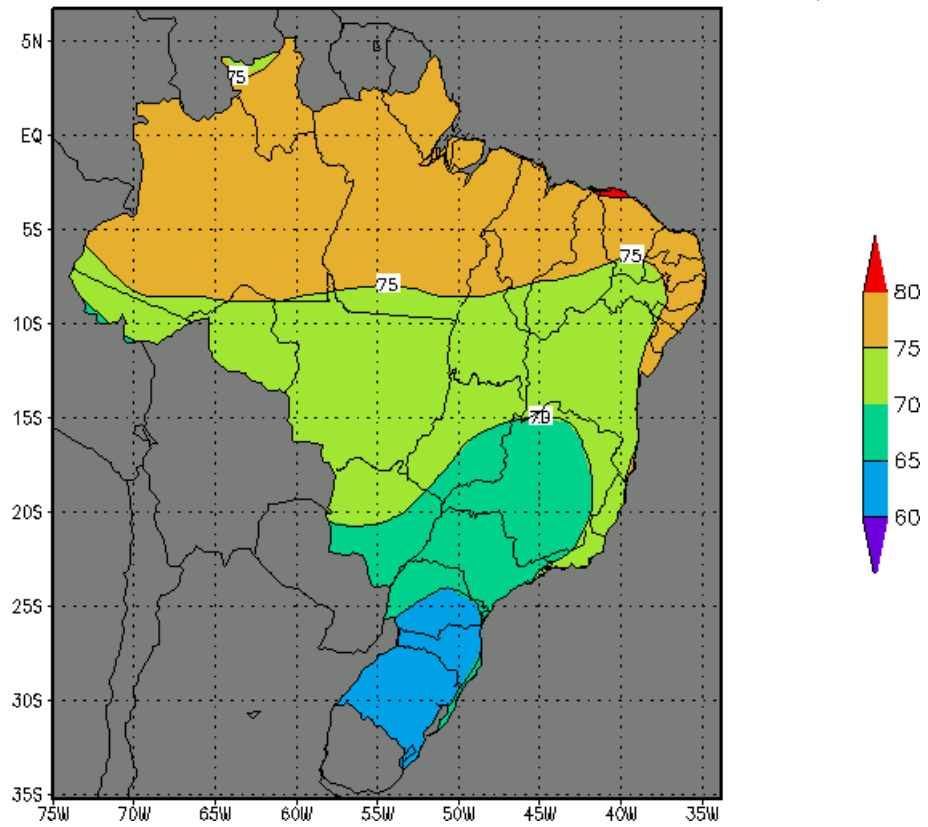
ABRIL



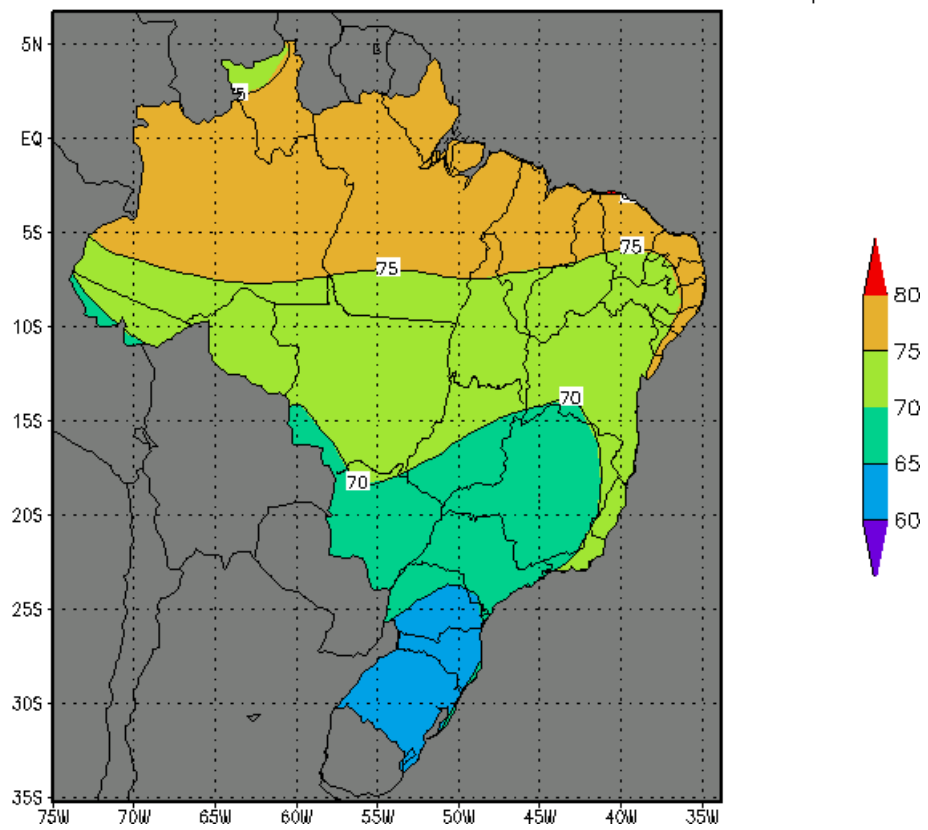
MAIO



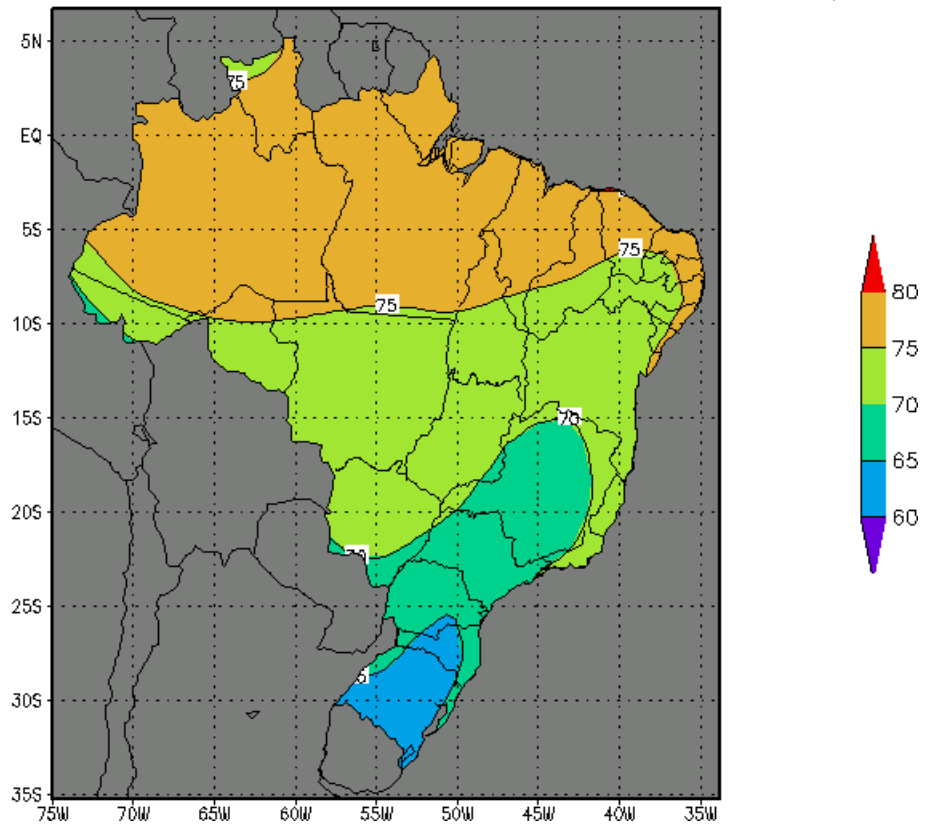
JUNHO



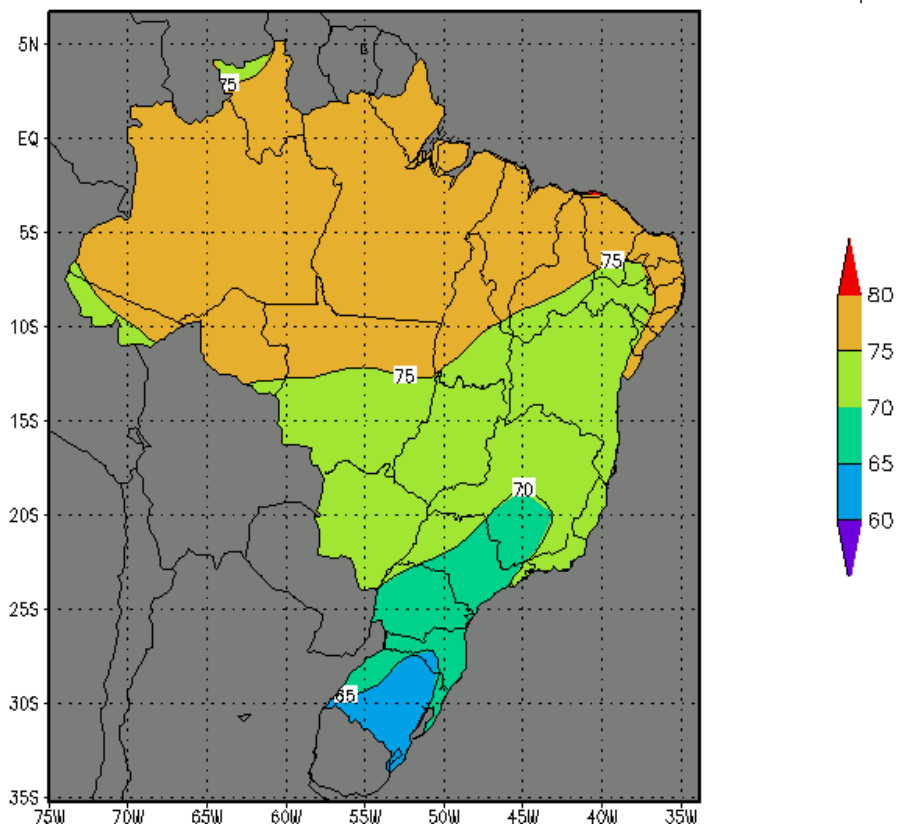
JULHO



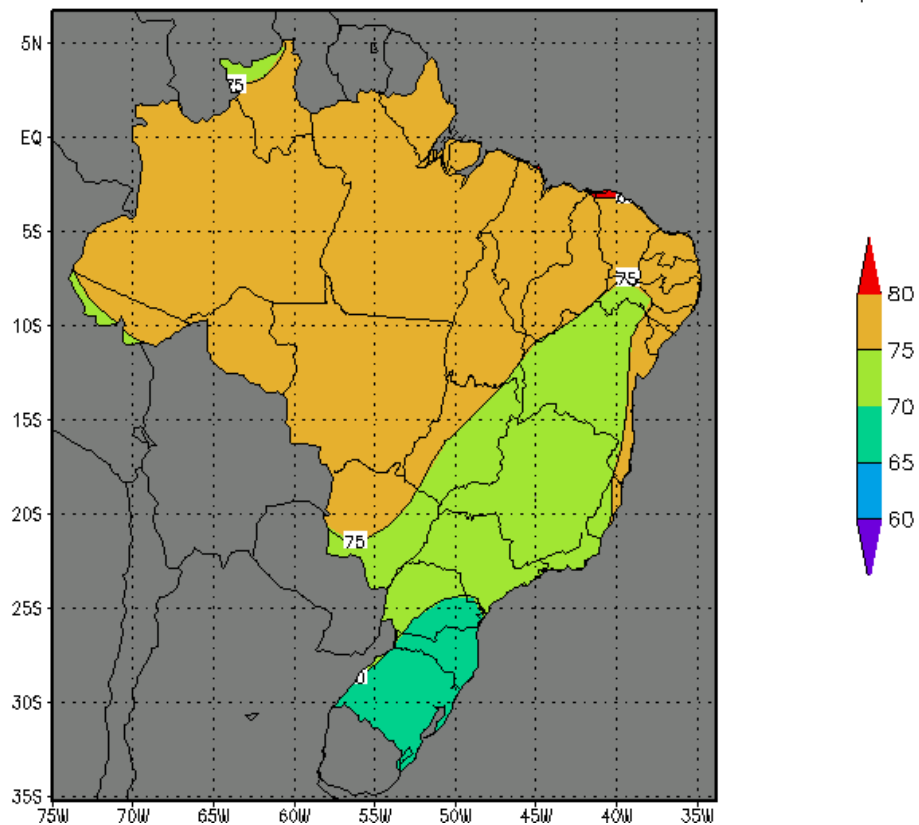
AGOSTO



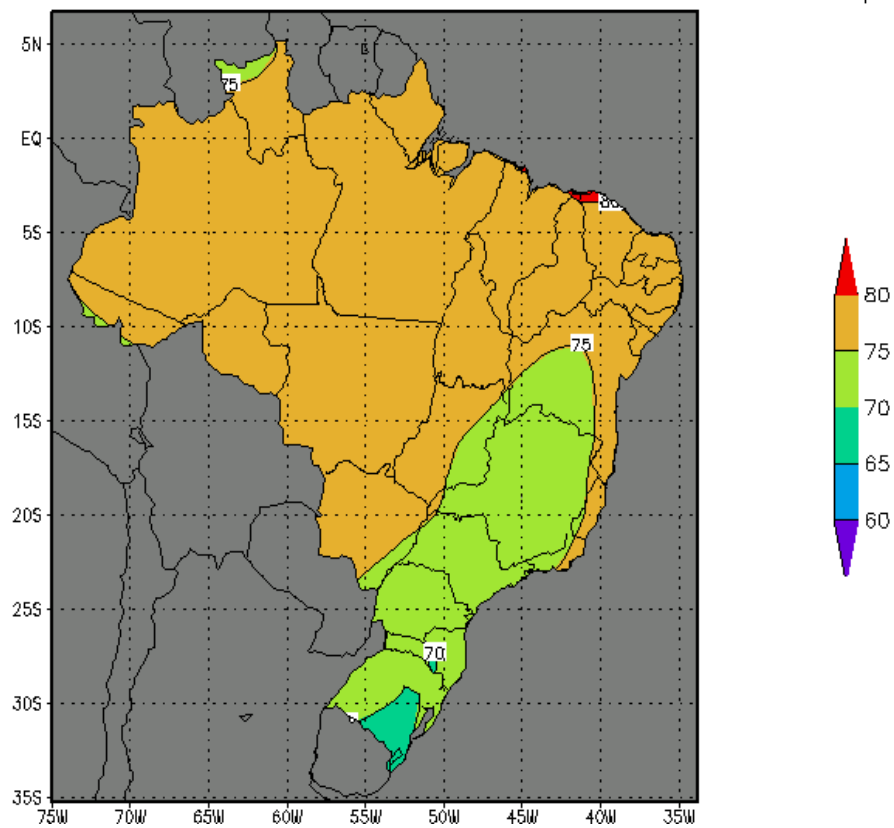
SETEMBRO



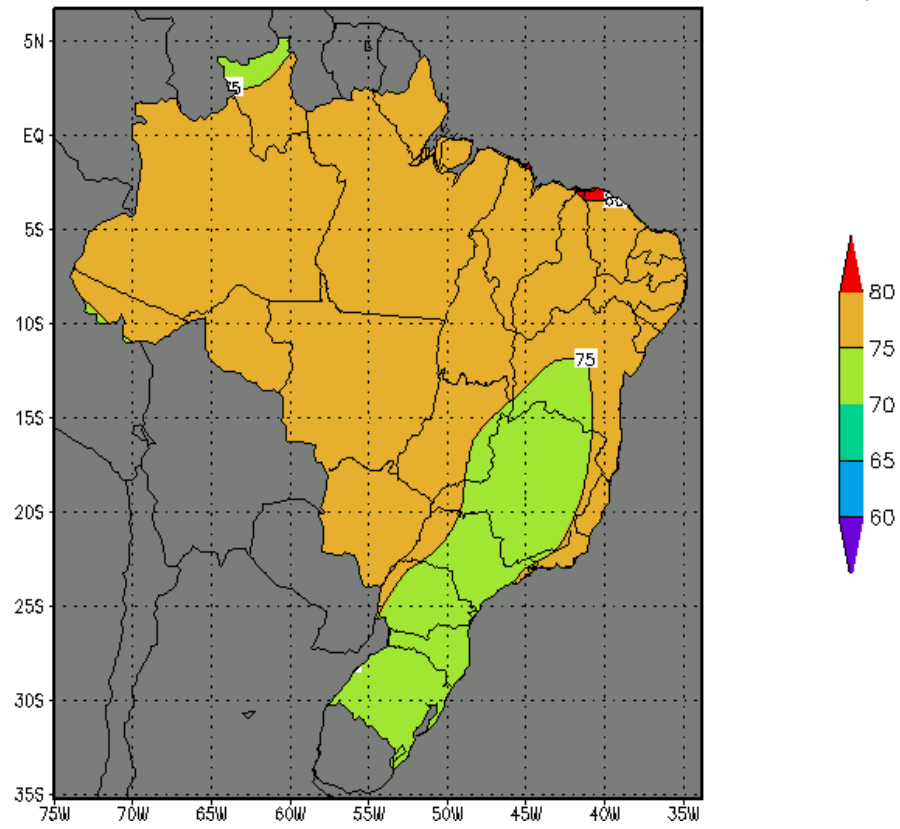
OUTUBRO



NOVEMBRO



DEZEMBRO



4.2.7.3 IAPfc dentro de uma instalação com resfriamento.

Estes resultados referem-se a um galpão com sistema de resfriamento evaporativo constituído de painéis evaporativos de celulose com eficiência de 70%, tendo 21.000 (vinte um mil) frangos de corte com massa de 1,89 kg cada alojados e vazão mássica de 120,8 kg de ar por segundo.

MEDEIROS (2001) desenvolveu o Índice Ambiental de Produtividade- IAPfc. Presume-se que um índice mais adequado seja aquele em que a comparação entre as diversas combinações de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar é feita com base nas respostas fisiológicas e de produtividade dos animais. Se duas combinações com diferentes valores das variáveis consideradas conduzem a uma mesma resposta fisiológica ou de produtividade, é de se esperar que tenham a mesma qualidade ambiental. O trabalho foi realizado em câmaras climáticas com temperatura, umidade e velocidade do ar constantes em várias combinações nos intervalos de 20% a 90% de umidade relativa, 16 a 36 C°, velocidade do ar de 0,6 a 2,4 m/s. Os resultados em condições reais, com uma constante variação dos valores podem ser diferentes. Equação, abaixo, foi aplicada a cada hora e os mapas são os valores médios.

$$\begin{aligned} IAPfc = & 45,6026 - 2,31072 t - 0,368331 u + 9,70922 v \\ & + 0,0549243 t^2 + 0,00121828 u^2 + 0,66329 v^2 \\ & + 0,0128968 tu - 0,300928 tv - 0,0595245 uv \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,94$$

em que

t = temperatura do ar, °C;

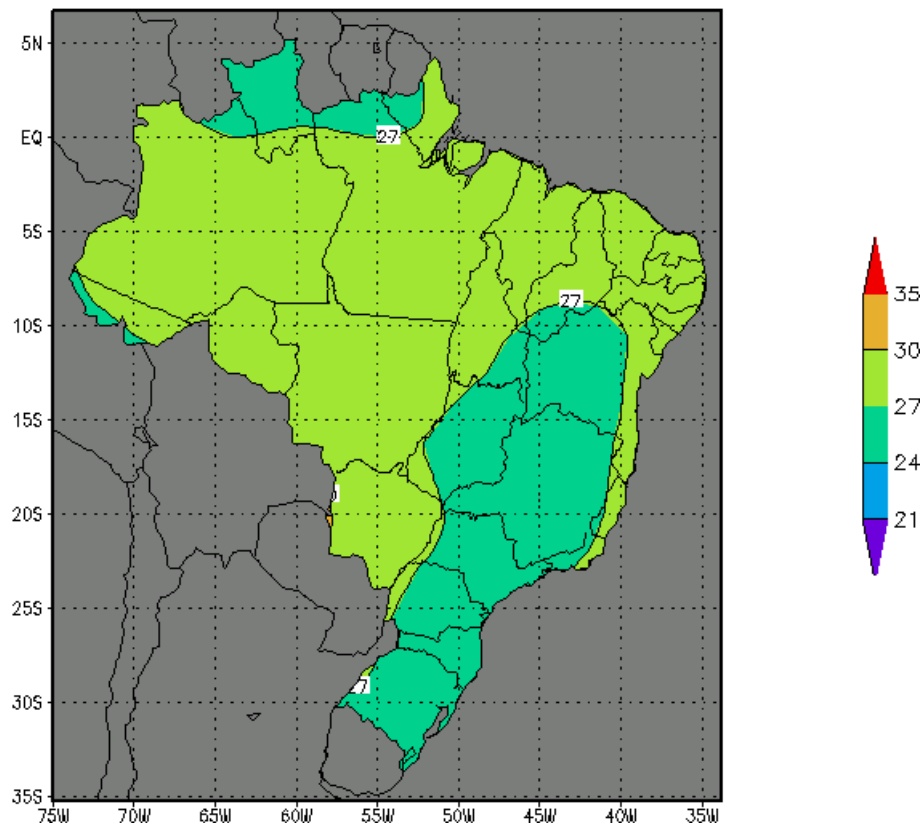
u = umidade relativa do ar, %; e

v = velocidade do ar, m.s⁻¹.

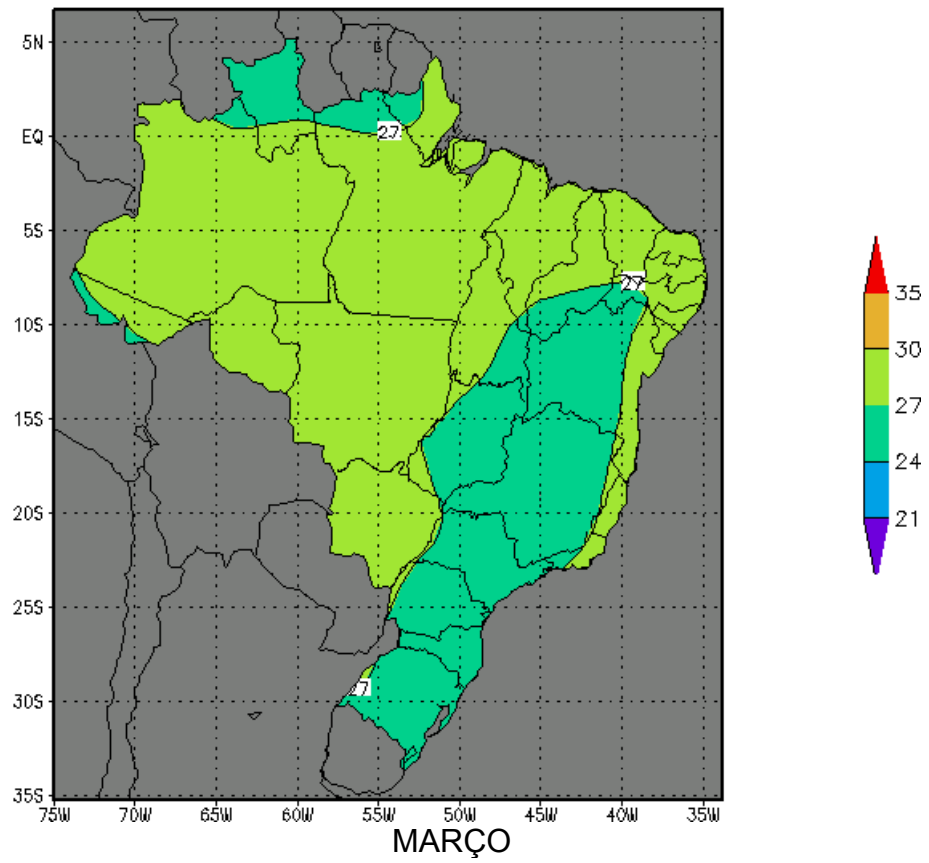
Os valores do índice entre 21 e 24 estão associados à máxima produtividade; para valores entre 25 e 27, registrou-se perda de peso da ave em torno de 1 a 5%; para valores entre 28 e 30, perda de 5,1 a 15%; para valores entre 31 e 34, perda de 15,1 a 30%; e para valores acima de 35, perda de 30,1 a 87%.

Deve ter atenção para o fato que o IAPfc não considera a taxa de mortalidade no cálculo das perdas. Em regiões muito quentes com ocorrência de temperaturas muito altas, que não podem ser compensadas pelo sistema de resfriamento, a taxa de mortalidade pode tornar a criação em alta densidade inviável.

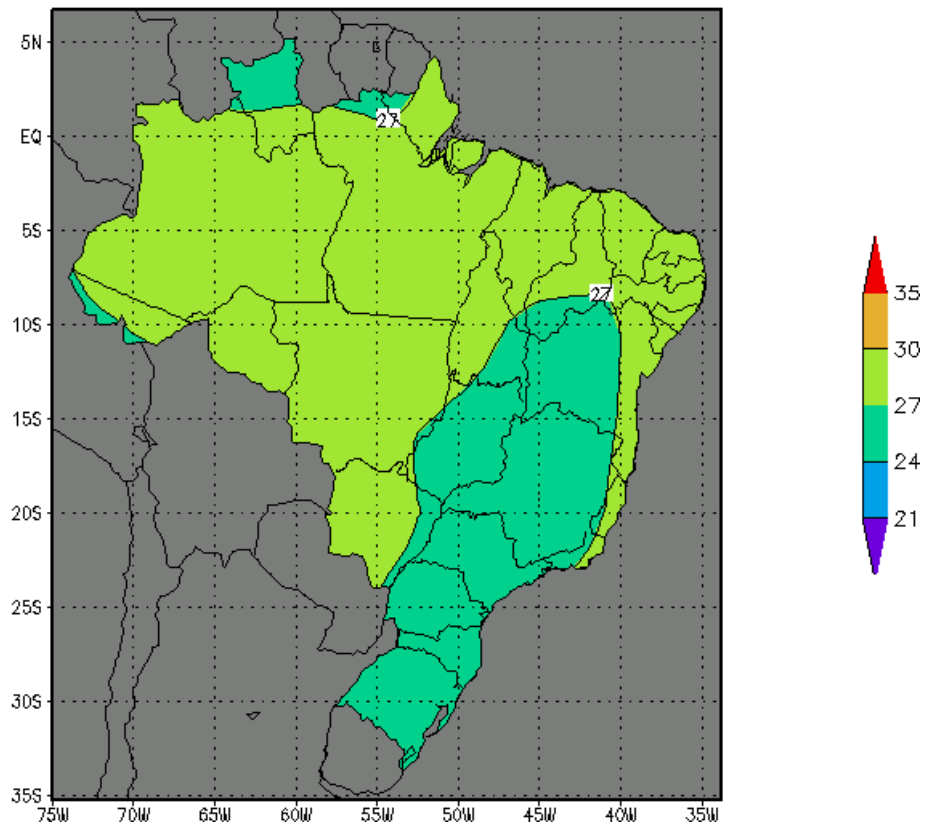
JANEIRO



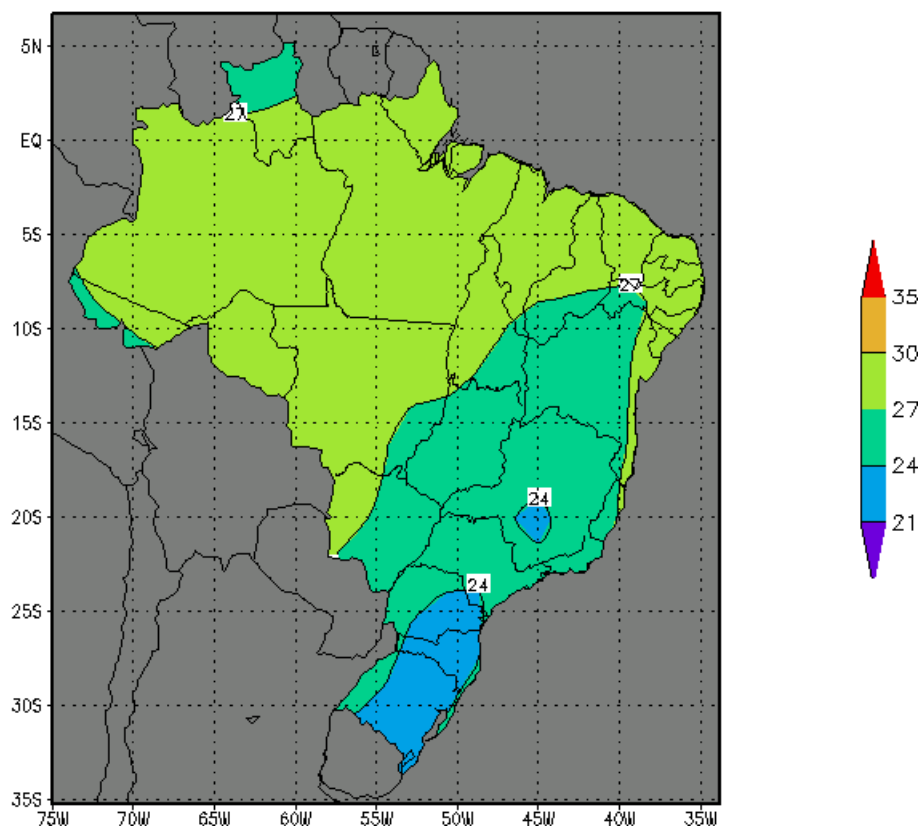
FEVEREIRO



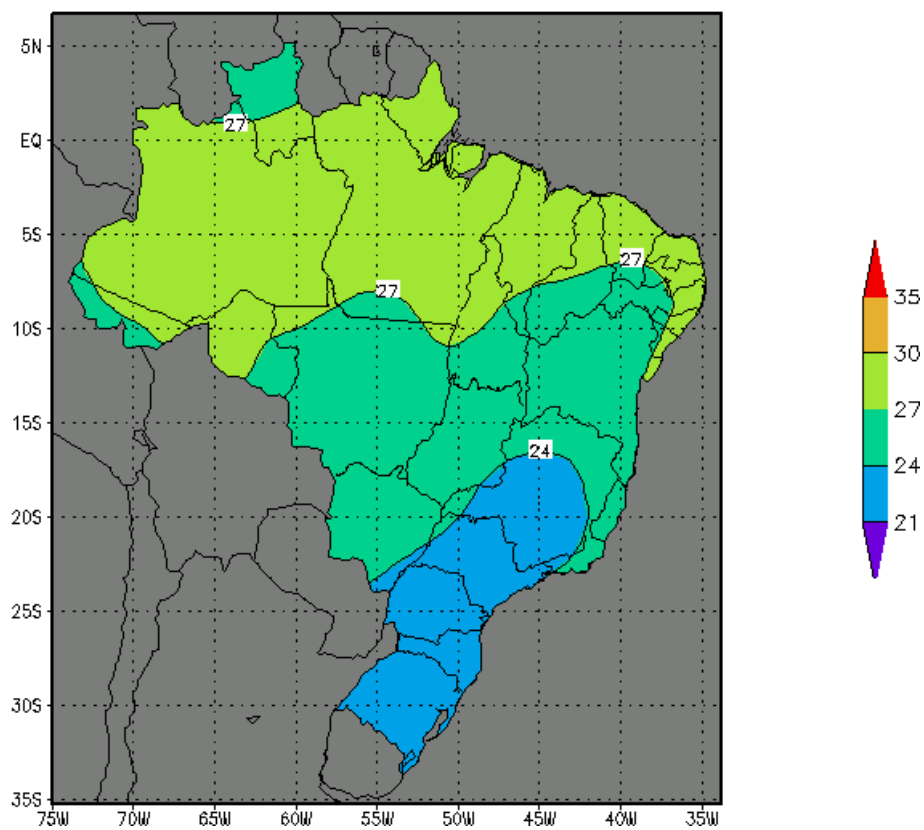
MARÇO



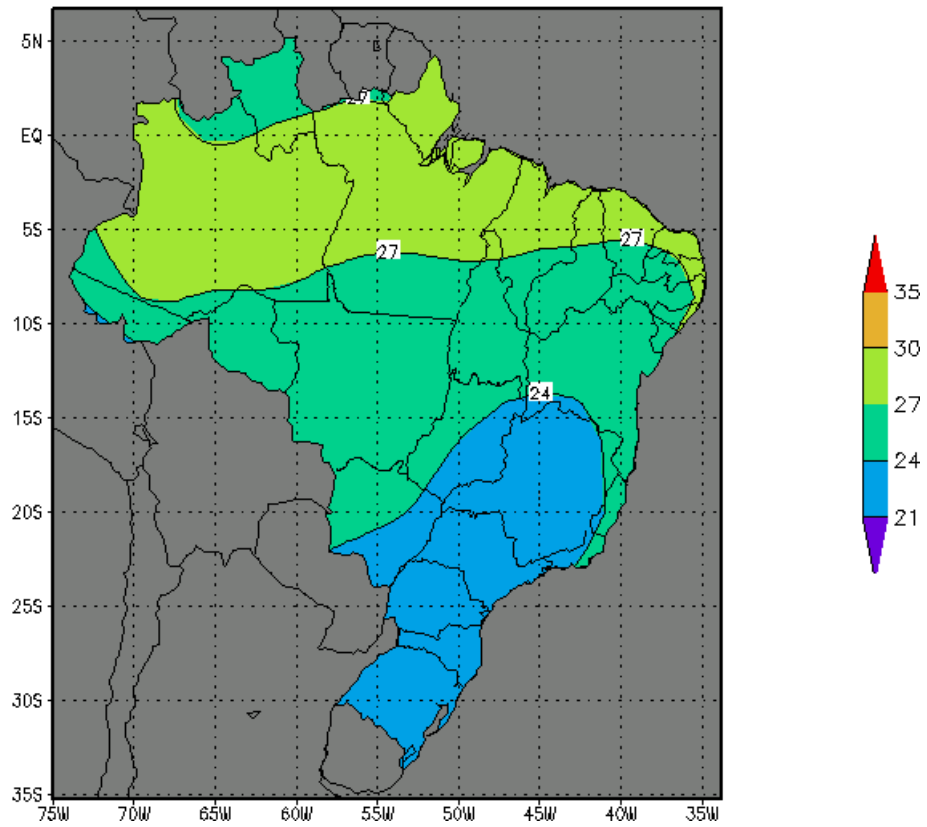
ABRIL



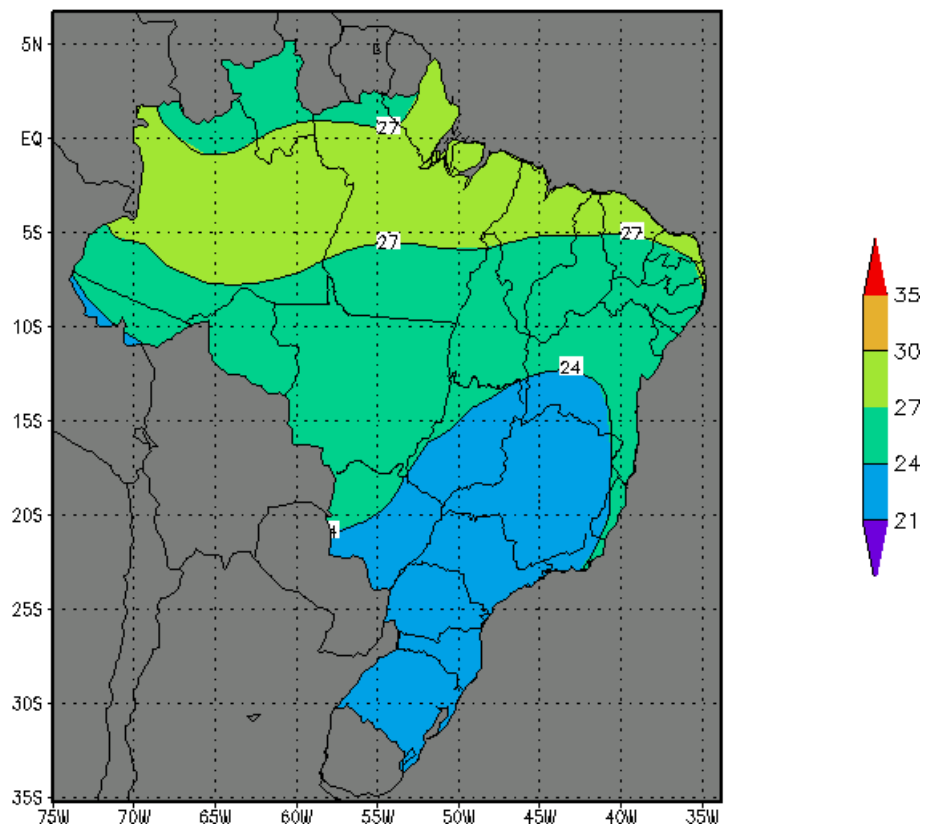
MAIO



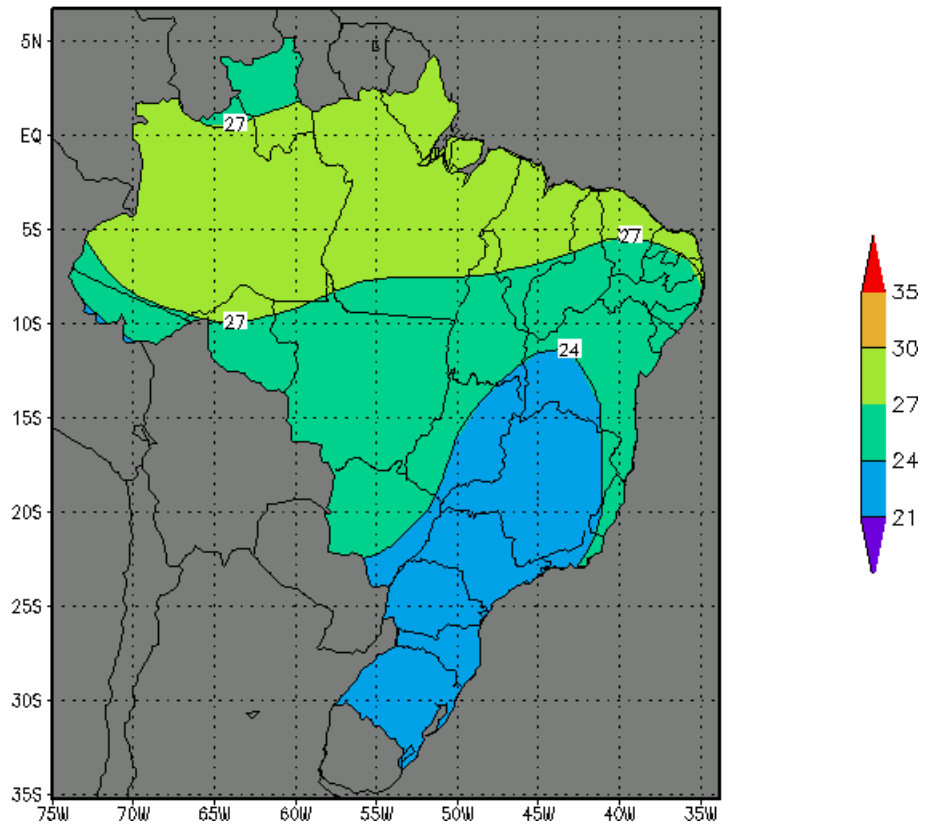
JUNHO



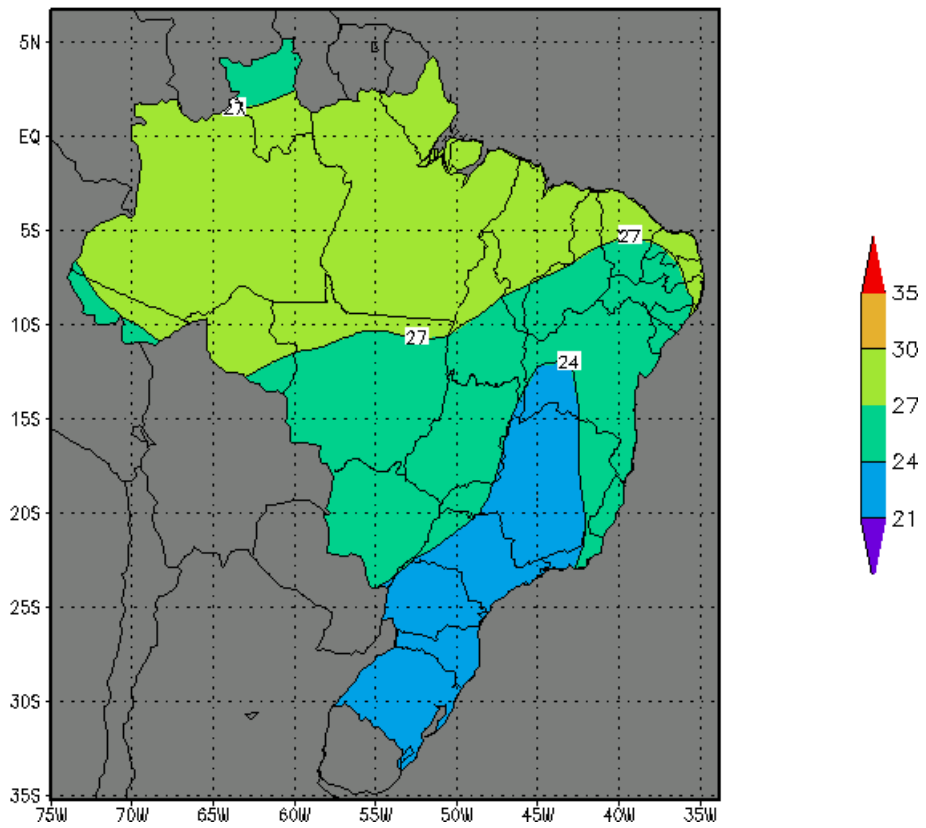
JULHO



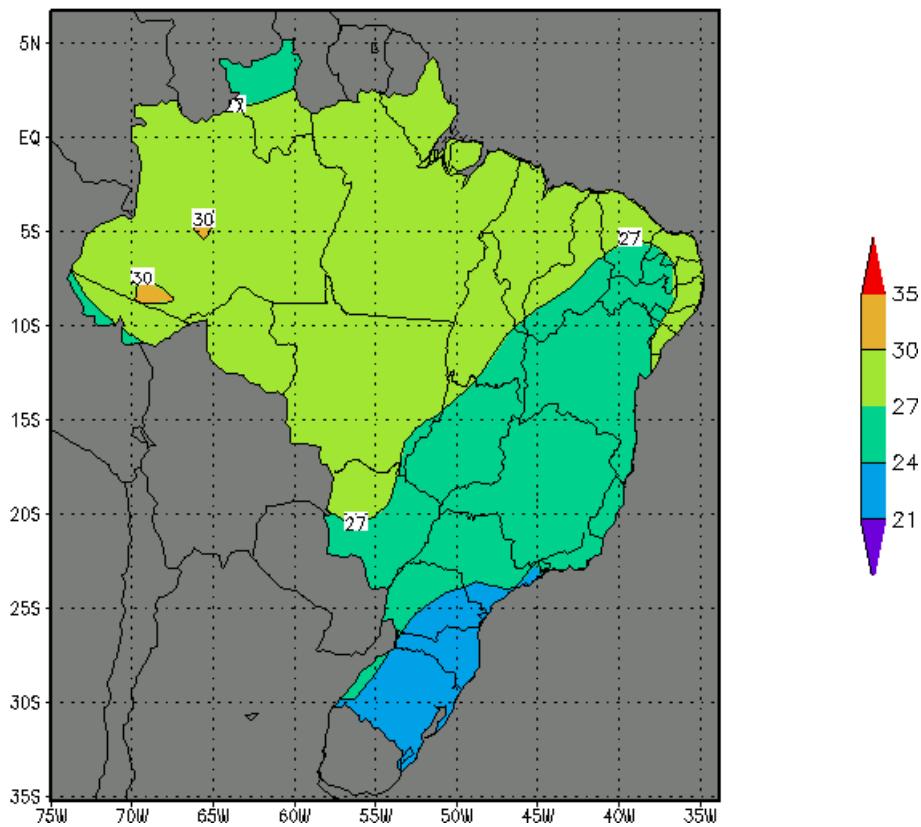
AGOSTO



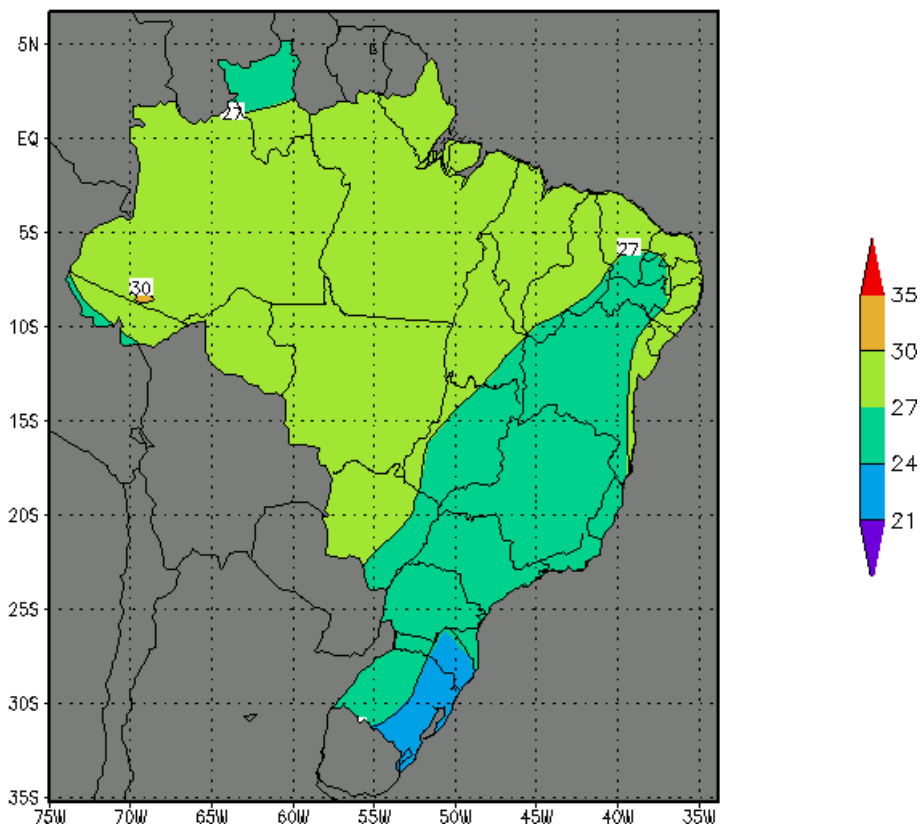
SETEMBRO



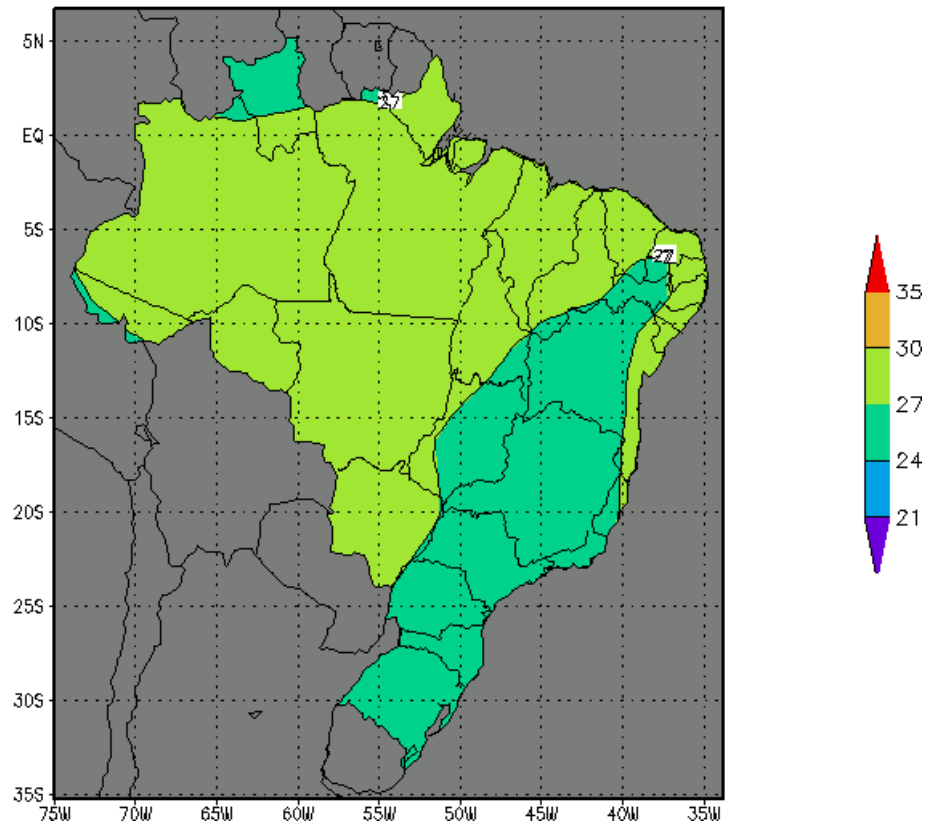
OUTUBRO



NOVEMBRO



DEZEMBRO



4.3. Comparação de técnicas de redução de escala aplicada a re-análises para uso em bioclimatologia

O conhecimento das necessidades ambientais dos animais e o estudo das condições climáticas da região e do microclima do local em que será implantado o sistema de produção podem contribuir na definição de técnicas e dispositivos de construções eficientes e que possibilitem a melhoria do conforto térmico dos animais e conseqüentemente de sua produtividade nas diferentes regiões climáticas do vasto território brasileiro.

Uma das limitações na avaliação de sistemas de condicionamento artificial de ambiente em função das condições climáticas de cada região e realização de zoneamentos bioclimáticos está no ajuste de escala dos elementos meteorológicos às diferentes condições em meso e microescala. O problema se torna mais crítico para o Brasil em vista da deficiência, tanto temporal como espacial, nos dados meteorológicos observados em séries longas (vinte ou trinta anos).

A existência de Análises e Re-análises geradas usando a combinação de dados de estações, satélites meteorológicos e modelos matemáticos, disponibiliza dados em séries longas, completas e igualmente distribuídos em todo o território nacional. Mas estes dados estão normalmente em média escala, por isso, foi, e está, sendo estudado pelo DEA/UFV diferentes técnicas de redução de escala (BIERKENS et al., 2000). O presente trabalho compara algumas delas.

Como informação de baixa resolução a ser aumentada foram usados dados de Re-análises I do NCEP/NCAR (KISTLER et al., 2001). Os dados estão numa grade de 2,5° por 2,5°. Médias diárias para todas as técnicas excetuando o Modelo Regional, que precisa de dados de 6 em 6 horas.

Como dado de verificação foram utilizados dados de 5 estações:

1) Número WMO: 835870, Nome: BELO HORIZ/TANCREDO, Latitude: -19,83, Longitude: -043,93, Altitude: +917m; 2) Número WMO: 837210, Nome: CAMPINAS/VIRACOPOS, Latitude: -23,00, Longitude: -047,13, Altitude: +661m; 3) Número WMO: 837550, Nome: SANTOS DUMONT/RIO, Latitude: -22,90, Longitude: -043,16, Altitude: +3m; 4) Número WMO: 837753, Nome: GUARULHOS (CIV/MIL), Latitude: -23,43, Longitude: -046,46, Altitude: +750m; 5) Número WMO: 837800, Nome: SÃO PAULO/CONGONHAS, Latitude: -23,61, Longitude: -046,65, Altitude: +803m

Os dados usados foram as médias diárias de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido.

As técnicas usadas foram:

- ◆ Ponto mais próximo

Pegar o ponto mais próximo é a técnica mais simples de *downscaling*, que menor esforço computacional exige.

- ◆ Ponto mais próximo ajustado para a altitude da estação

Os valores foram ajustados usando o campo de pressão ao nível do mar corrigido a razão de 1/30 avós do valor da pressão a cada 275 m de forma interativa, a cada 275 m se utilizava o valor de pressão corrigido anteriormente. Em vez de se utilizar o valor de temperatura de temperatura do ponto de orvalho, usou-se a temperatura potencial e a umidade específica fazendo a conversão a partir da pressão corrigida.

- ◆ Interpolação

Foi feita uma interpolação bi-linear dos quatro pontos ao redor da estação.

- ◆ Interpolação ajustada para a altitude da estação

Os valores foram ajustados usando o campo de pressão ao nível do mar corrigido a razão de 1/30 avós do valor da pressão a cada 275 m de forma interativa, a cada 275 m se utilizava o valor de pressão corrigido anteriormente. Em vez de se interpolar o valor de temperatura de temperatura do ponto de orvalho, interpolou-se a temperatura potencial e a umidade específica fazendo a conversão a partir da pressão corrigida.

- ◆ Modelo Regional

Foi utilizado o modelo regional MM5 (*Fifth-Generation NCAR / Penn State Mesoscale Model*) modeling system Version 3, release 3-6 (DUDHIA et al, 1999). A grade utilizada foi de 40 km por 40 km num total de 400 pontos. A área da rodada foi entre 24,9694° latitude Sul e 18,9671 latitude Sul e entre 48,7381° longitude Oeste e 42,2617° longitude Oeste. Os valores utilizados para a comparação com os dados observados se referem ao ponto mais próximo.

Nas cinco técnicas testadas podem ser usadas pontos onde não existe nenhum dada coletado previamente. Algumas outras (redes neurais, estocásticas, etc) dependem da existência de uma série histórica de dados no ponto desejado para permitir o ajuste da estimativa de valores. Sendo assim as técnicas usadas, que englobam as simples e a mais sofisticadas e dispendiosas em termos computacionais, são adequadas

para estimar informação histórica não disponível para fins de estudos climáticos.

Na Tabela 3 estão os valores de erro padrão das diversas técnicas para todas as estações e o erro padrão geral. PMP é Ponto mais próximo, PMPA é Ponto mais próximo com ajuste para a altitude da estação, INTERP é interpolado, INTERPA é interpolado e ajustado para a altitude da estação, MODEL é modelo regional.

TABELA 3 - Erro Padrão calculado para cada estação.

	ERRO PADRÃO				
	PMP	PMPA	INTERP	INTERPA	MODEL
835870 - BELO HORIZ/TANCREDO					
Temperatura	2,20	2,04	2,84	1,71	1,21
Temperatura do ponto de orvalho	1,32	1,37	1,01	0,73	3,53
837210 - CAMPINAS/VIRACOPOS					
Temperatura	2,40	1,82	2,41	2,22	1,21
Temperatura do ponto de orvalho	0,94	0,95	0,90	0,95	2,04
837550 - SANTOS DUMONT/RIO					
Temperatura	3,09	1,14	1,16	3,19	1,21
Temperatura do ponto de orvalho	0,73	0,93	0,67	0,71	1,08
837753 - GUARULHOS (CIV/MIL)					
Temperatura	0,84	0,86	1,76	1,08	1,36
Temperatura do ponto de orvalho	0,97	0,88	0,85	1,28	2,26
837800 - SÃO PAULO/CONGONHAS					
Temperatura	0,98	1,35	2,60	1,05	1,32
Temperatura do ponto de orvalho	2,17	1,95	1,97	2,62	0,90
GERAL					
Temperatura	1,90	1,44	2,15	1,85	1,26
Temperatura do ponto de orvalho	1,23	1,22	1,08	1,26	1,96

Os resultados usando interpolação dos quatro pontos ao redor da estação se mostraram melhores quando não há ajuste dos valores para a altitude. Mas com ajuste o método do ponto mais próximo se torna superior. Outras técnicas de interpolação, que permitam uma redução maior no peso dos pontos mais distante no cálculo precisão ser testadas.

Os resultados do modelo regional são mais uniformes para a temperatura, não havendo grande variação no erro padrão nos diversos pontos. Para as outras técnicas ouve uma grande variação claramente influenciada pela topografica circundante à estação. Um caso interessante

é a estação de SANTOS DUMONT/RIO que está praticamente ao nível do mar enquanto o ponto mais próximo se situa sobre a faixa montanhosa próximo a costa e dos pontos ao redor dois estão no oceano. O ajuste pela altitude na interpolação e no ponto mais próximo tem efeitos contrário sobre o erro padrão.

A aproximação no caso da temperatura do ponto de orvalho é melhor que a temperatura, exceto para o modelo regional, provavelmente devido ao fato que a variação da umidade é normalmente menor que a temperatura.

O modelo regional utilizado foi o que apresentou melhor resultados para a temperatura. No entanto para a temperatura do ponto de orvalho indicou sempre valores abaixo do observado. O erro é claramente sistemático quando se observa os gráficos. A variação da temperatura de bulbo úmido no tempo acompanha razoavelmente a observada, só que num valor mais baixo. Claramente o modelo está subestimando a umidade. O uso de um modelo regional tem a vantagem adicional de permitir uma redução de escala temporal. Podemos ver na Figura 17 um exemplo dos dados de Re-análises I do NCEP/NCAR (recorte na mesma área usada no modelo regional) e da saída do modelo regional. O modelo tem uma série de opções que podem ser modificadas para cada rodada sobre como ele realizará os cálculos e usará os dados de entrada. É necessário testar outras configurações e também outros modelos regionais. Em último caso tentar alterar as equações usadas pelo modelo para resolver o problema.

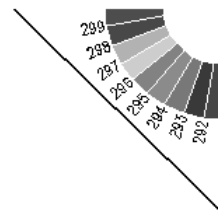
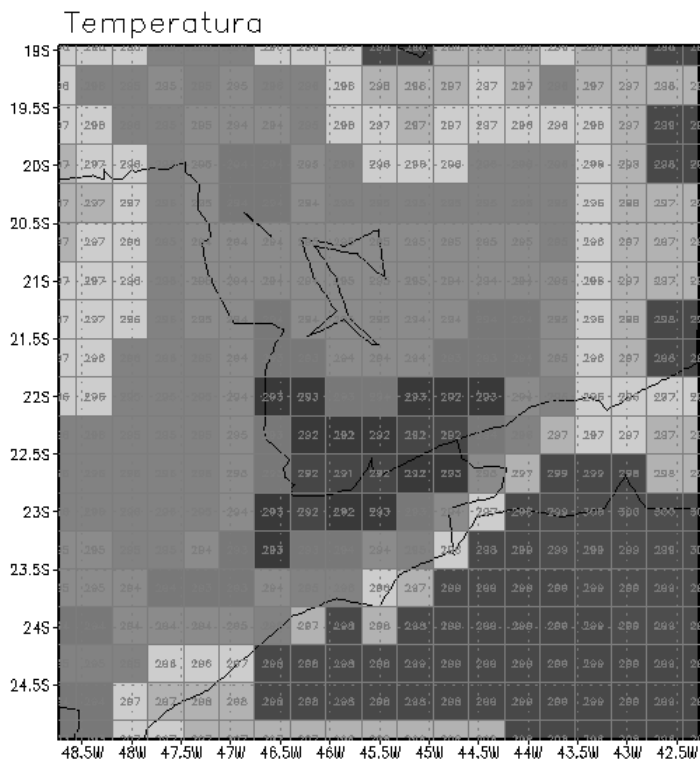
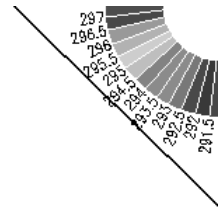
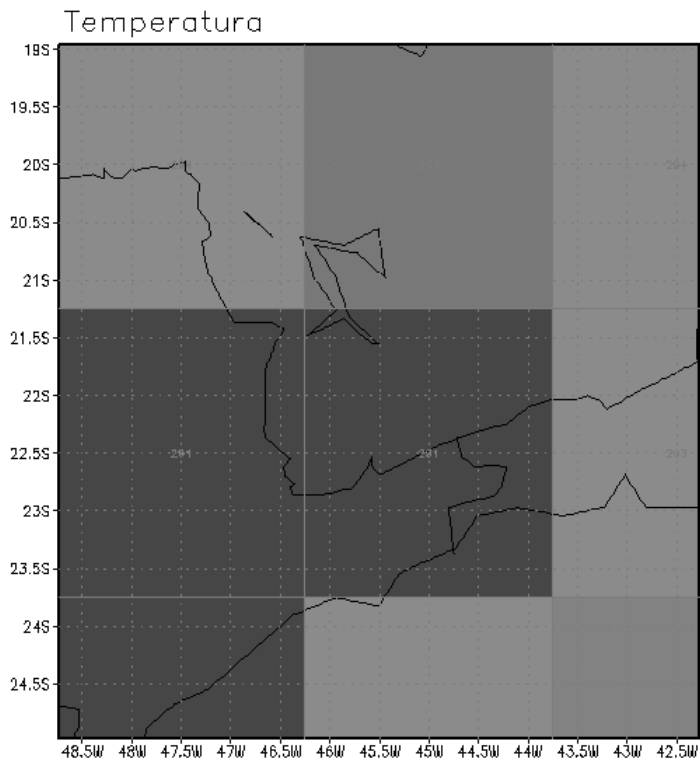


FIGURA 17 - Exemplo dos dados de Re-análises I do NCEP/NCAR e da saída do modelo regional

O modelo regional utilizado foi o que apresentou melhor resultados para a temperatura. Claramente o modelo está subestimando a umidade. Os resultados do modelo regional são mais uniformes para a temperatura. Para as outras técnicas houve grande variação influenciada pela topográfica circundante à estação. É necessário testar outras configurações e também outros modelos regionais.

4.4. Comparação dos dados com redução de escala usando diferentes técnicas de interpolação

As técnicas mais simples de interpolação de grade são a interpolação linear e a interpolação por peso de área. Em princípio a técnica de peso de área é mais adequada quando se deseja diminuir a resolução aumentando o espaçamento da grade. Não é, no geral, aplicável para a redução da grade pois normalmente mantém na maior parte dos pontos os valores da grade anterior chegando ao ponto de ter os mesmos valores em todas a área da grade anterior caso o intervalo da nova grade seja um divisor do intervalo da grade anterior. Portanto foi descartada como alternativa.

Procurou-se uma técnica superior a interpolação linear que realiza-se não só a interpolação mas também a extrapolação. Foram comparadas duas técnicas: Análise Objetiva de Cressman e Interpolação de Bessel. O problema mais comum com estas técnicas é que elas não limitam os valores extrapolados ao intervalo de valores válidos para uma dada variável mas ao subconjuntos dos elementos do conjuntos Q que pode ser representados, neste caso específico, por um valor de ponto flutuante

em quatro bytes no formato IEEE. Problemas podem ocorrer principalmente quando os dados originais são muito esparsos em relação a nova grade. A Análise Objetiva de Cressman não se mostrou muito adequada principalmente, por gerar valores negativos de umidade como pode ser visto na Figura 18, principalmente nos Andes, Paraguai e Centro Oeste do Brasil

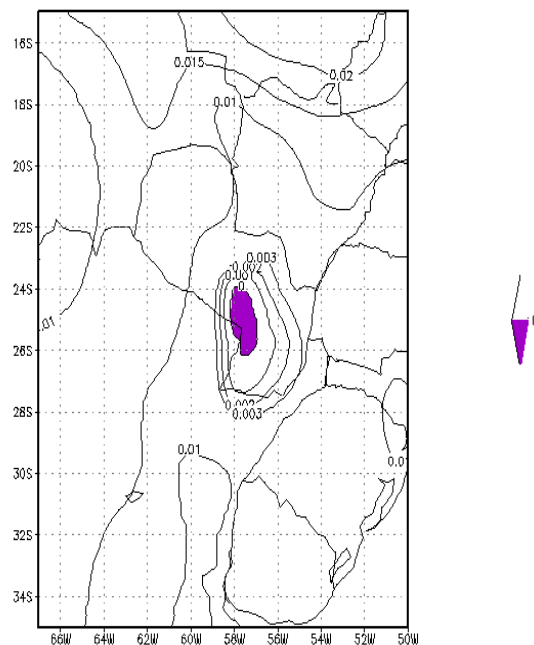


Figura 18: Valores de umidade específica

A técnica de Interpolação de Bessel se mostrou a mais adequada para o território brasileiro embora com resultados ruins nos Andes (Figura 19). Como ela é, em princípio superior a interpolação linear simples e a região dos andes não tem interesse no presente trabalho decidiu-se aplica-la na geração dos dados interpolados. A total solução deste problema se daria com utilização de um modelo de circulação atmosférica de área limitada, mas que tem um dispêndio computacional muito grande.

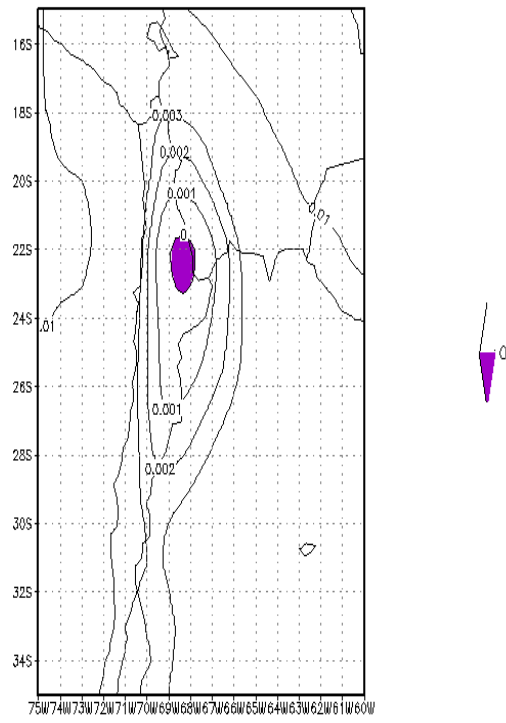


Figura 19: Valores de umidade específica

4.5. Resultados a partir do dados de Re-analises 2 com o downscaling.

Nas Figura 20 e 21 pode-se comparar dos dados na grade de 1,875 graus com os dados em 0,333 graus. As diferenças entre os dois mapas não se deve apenas a mudança de grade mas também ao ajuste devido ao relevo.

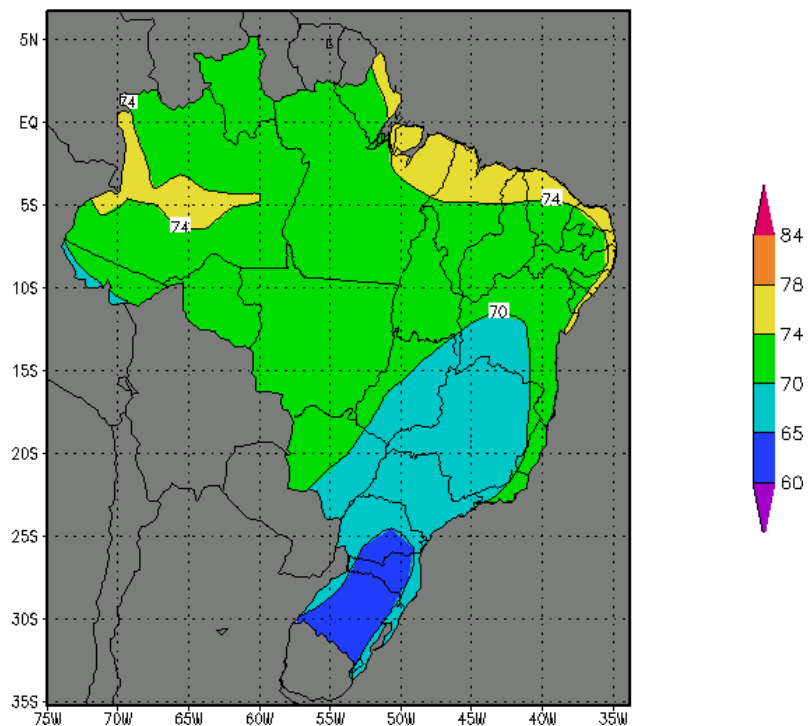


Figura 20: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Abril no exterior da instalação resolução de 1,875 graus.

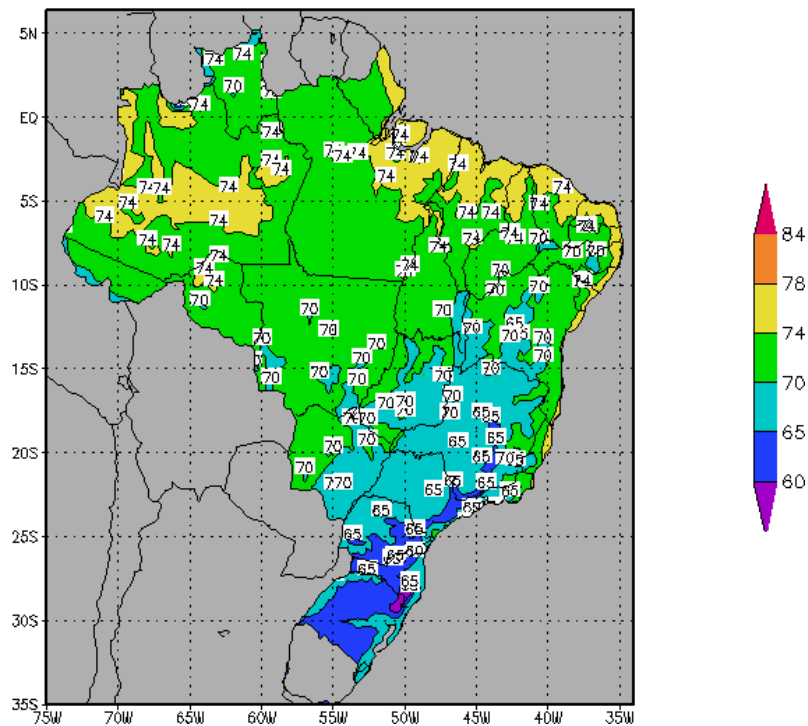


Figura 21: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Abril no exterior da instalação resolução de 0,333 graus.

Os gráficos com isolinhas escondem um pouco a melhor resolução dos dados em 0,333 por isso foi apresentado nas Figuras 22 e 23 como um retângulo para cada valor no colorido do mapa e as linhas em preto continuam como isolinhas. É claramente visível que os dados em 0,333 graus se ajustam quase perfeitamente as isolinhas.

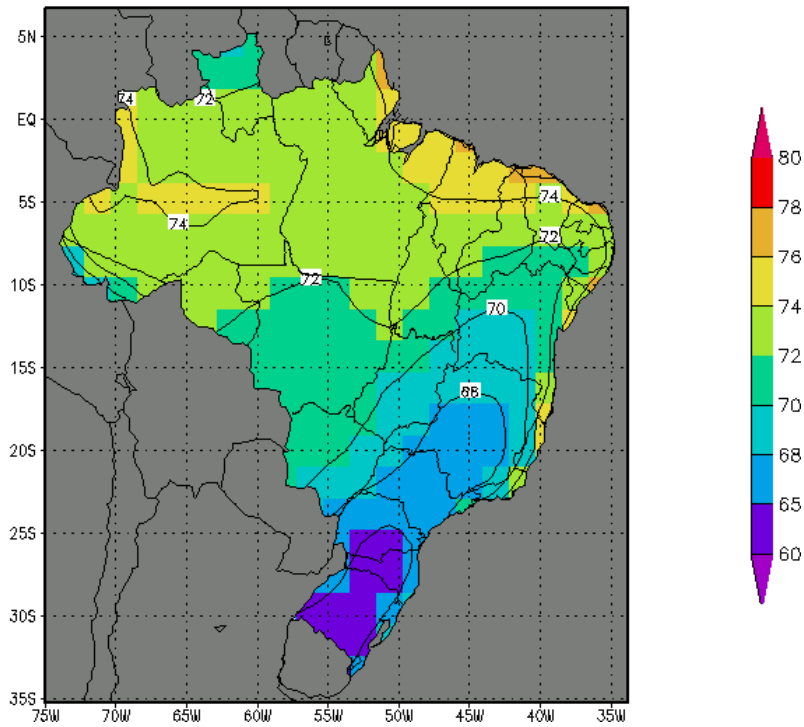


Figura 22 - Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Abril no exterior da instalação resolução de 1,875 graus.

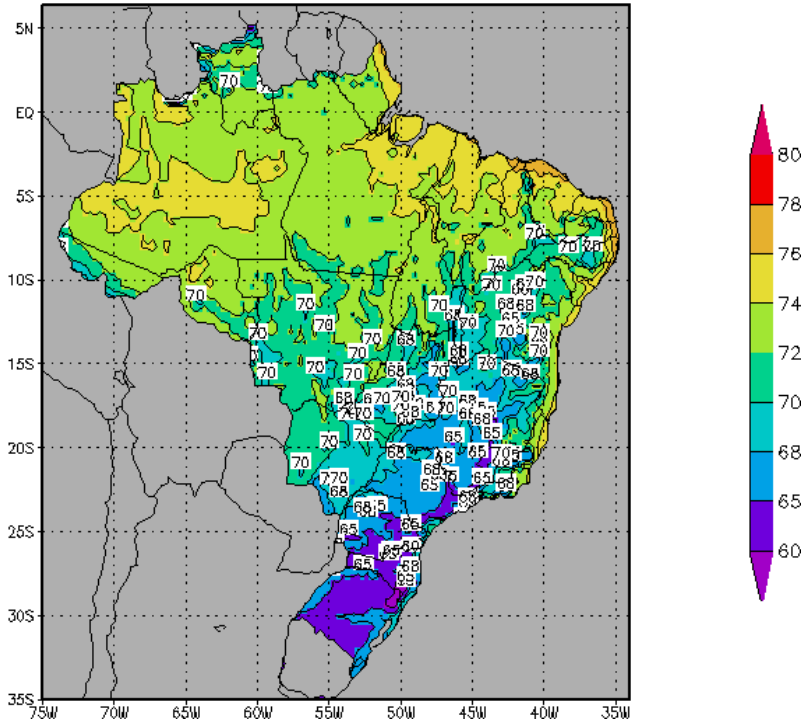


Figura 23 - Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Abril no exterior da instalação resolução de 0,333 graus.

As características gerais dos dados não tiveram grande mudança (Figuras 24 e 25). Pode-se afirmar que, a grosso modo, continuam válidas as análises feitas no tópico 4.1. Para um estudo macro de aspectos nacionais os dados não apresentam grande impacto. A maior utilidade destes dados será em análises regionais, que fica como sugestão de trabalhos futuros.

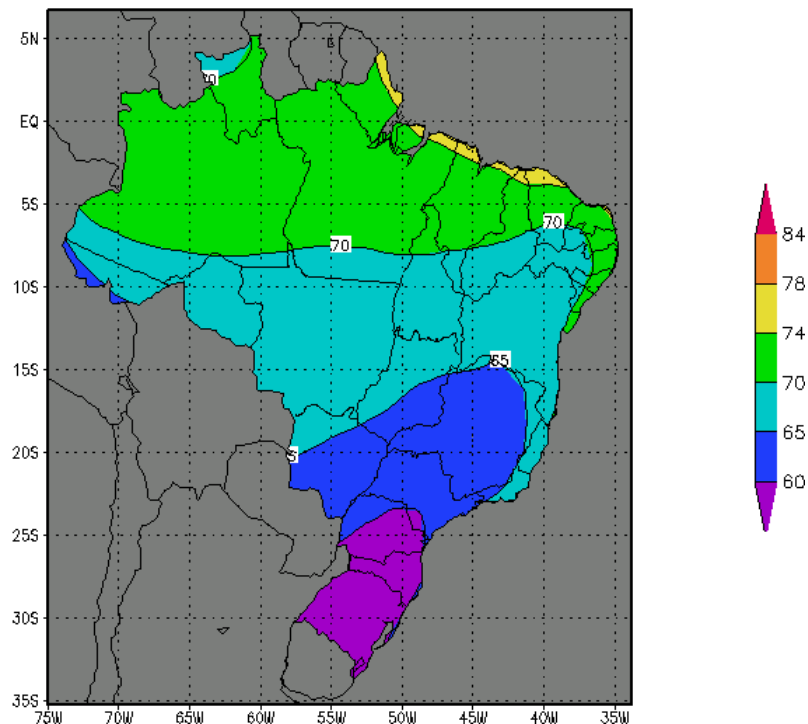


Figura 24: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Julho no exterior da instalação resolução de 1,875 graus.

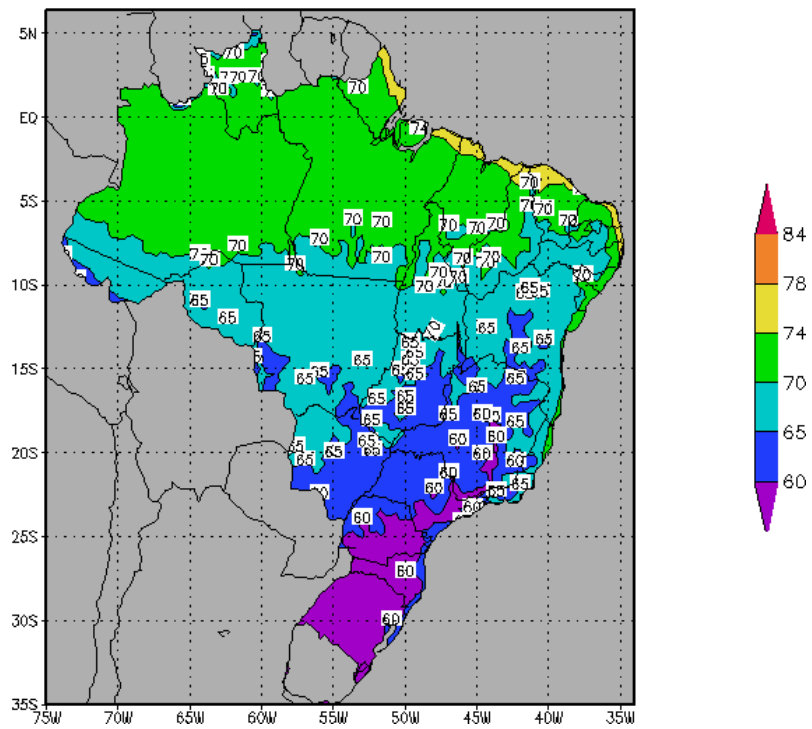


Figura 25: Valores médios de ITU entre as 09h e 15h do mês de Julho no exterior da instalação resolução de 0,333 graus.

5. CONCLUSÕES

Do estudo realizado pode-se tirar as seguintes inferências conclusivas:

- Quanto mais próximo do equador maior é o valor do ITU. Há uma ligeira tendência de a região sudeste e centro oeste divergirem deste padrão. Esta divergência é agravado no período de verão em que a região sudeste tem predominantemente valores de ITU mais amenos que a região centro oeste na mesma latitude
- A região norte apresenta baixo potencial para criação avícola em alta densidade.
- Os valores de ITU mais amenos no norte de Roraima são devidos a elevada altitude da região

A respeito das técnicas de *downscaling*:

- O modelo regional utilizado foi o que apresentou os melhores resultados para a temperatura.
- Claramente o modelo está subestimando a umidade.
- Os resultados do modelo regional são mais uniformes para a temperatura. Para as outras técnicas houve uma grande variação claramente influenciada pela topografica circundante à estação.

- É necessário testar outras configurações e também outros modelos regionais.
- A técnica de Interpolação de Bessel se mostrou a mais adequada para o território brasileiro embora com resultados ruins nos Andes

A respeito dos dados depois do *downscaling*:

- As características gerais dos dados não tiveram grande mudança. Pode-se afirmar que, a grosso modo, continuam válidas as análises feitas para os dados antes do *downscaling*. Para um estudo macro de aspectos nacionais os dados não apresentam grande impacto. A maior utilidade destes dados será em análises regionais, que fica como sugestão de trabalhos futuros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, J.M., WATHES, C.M., BERCKMANS, D Dynamic Data-based Modeling of Heat Production and Growth of Broiler Chickens: Development of an Integrated Management System Biosystems Engineering 84 (3), p. 257–266,2003.

AGUIAR, M. J. et al. Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) na Região Nordeste do Brasil e no norte de Minas *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo v.9 n.3, p.557-563 ,2001.

ANUÁRIO 2002 DA AVICULTURA INDUSTRIAL *Exportar ou morrer*, DEZ'01/JAN'02, ano 93, nr.1096 p. 50-53, 2002

ABREU, V. M. N. & ABREU, P. G. *Qualidade de carcaça e o manejo na produção – Informe Embrapa*. Avicultura Industrial, nr. 5, ed. 1101, 2002.

ALBRIGHT, L.D. Environment control for animals and plants St. Joseph, ASAE, 1990, 453p.

ASHRAE SYSTEM and Equipment Handbook (SI) ASHRAE, 1996.

AVES E OVOS, *Mercado Mundial de Frango e Ovos*, 2005. Disponível em http://www.aveseevos.com.br/m_mundial.html. Acesso em 10/dez/2005.

BAÊTA, F.C. *Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season*. Tese de Ph.D., University of Missouri. 218p. 1985

BAÊTA, F. C., SOUZA, C. F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 246p.

BAIÃO, N. C. *Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas* In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. Anais... Campinas, SP; FACTA, 1995. p.67-75.

BAUKER, C. Aspectos econômicos da criação de aves em ambientes climatizados . Conferência APINCO 1998 Simpósio internacional sobre ambiência e sistemas de produção avícola, Concórdia, SC, 1998.

BIERKENS, M.F.P. Finke, P.A. and. Willigen, P. Upscaling and downscaling methods for environmental research Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2000.

BOND, T. E., KELLY, C. F., HEITMAN JUNIOR, H. *Effects of increased air velocities on heat and moisture loss growth of swine*. Transaction of the ASAE, v.8, n.2, p.167-169, 1965.

BOTTCHER, R. W., BAUGHMAN, G. R., GATES, R. S., and TIMMONS, M. B. *Characterizing efficiency of misting systems for poultry* Transactions of the Asae,34(2):586-590, 1991.

BOTTCHER, R. W., BRAKE, J., BAUGHMAN, G. R. and MAGURA, J. R. *Reducing heat stress in broilers – vertically directed mixing fans as alternative to tunnel ventilation*. World Poultry-Misset, v. 11, n 3, 1995, p. 24-31.

BRAGA, H. J., SILVA Jr., V. P., PANDOLFO, C., PEREIRA, E. S. Zoneamento de riscos climáticos da cultura de maçã no estado de Santa Catarina *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo v.9 n.3, p.439-445 ,2001.

BROWN-BRANDL, T.M., Beck, M. M., Schulte, D. D., Parkhurst, A. and DESHAZER, J.A.. *Temperature, humidity and age effects on growing tom turkeys*. Journal of Thermal Biology, 22(1):43-52, 1997.

BROWN-BRANDL, T.M.; BECK, M.M. *Temperature-humidity effects on growing male turkeys*. Nebraska Poultry Report 1997/1998. University of Nebraska, Electronic version issued November 1998.

CAMPOS, A. T., KLOSOWSKI, E. S., GASPARINO, E., CAMPOS, A. de T. Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná *Acta Scientiarum Maringá*, v. 24, n. 5, p. 1575-1581, 2002

CHEPETE, H. J. & XIN, H. *Heat and moisture production of poultry and their housing systems – A literature review*. IN: Proc. Of Sixth International Livestock Environment Symposium, St. Joseph,MI,USA:ASAE, 2001.

CONWAY, D. & JONES, P.D. The use of weather types and air flow indices for GCM downscaling *Journal of Hydrology* 212–213, 1998.

COOPER, M. A. & WASHBURN, K. W. , *The Relationships Body Temperature to Weight Gain*, *Poultry Science* 77:237-242, 1998.

CURTIS, S.E. *Environmental management in animal agriculture*. Ames, The Iowa State University Press, 1983. 410p.

CZARICK,M.,TYSON,B. *The design and operation of tunnel-ventilated poultry houses*. Georgia: Cooperative Extension Service, The University of Georgia, May, 1990. 12p.

DA SILVA, C. E. *Comparação de painéis evaporativos de argila expandida e celulose para sistema de resfriamento adiabático evaporativo do ar em galpões avícolas com pressão negativa em modo túnel*. Viçosa, MG: UFV, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa,2002

DESHAZER, J. A & BECK, M. M. *University of Nebraska Report for Northeast Regional Poultry Project NE-127*. Lincoln: Agricultural Research Division, Univ. of Nebraska.1988.

DONALD, J. *Enviromental Control options under different climate conditions*, *World Poultry Elsevier* v.14, n. 11 p.22-27, 1998

DRURY,L.N., SIEGEL,H.S. *Air velocity and heat tolerance of young chickens*. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, Michigan, v.9, n.4. p 583 – 585, 1966.

DUDHIA, J., Gill, D., Guo, Y., Manning, K., Wang, W., Collin, V. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and Users' Guide, 1999.

ESMAY, M. L., DIXON, J. E. *Environmental control for agricultural buildings*. Westport: AVI, 1986. 287p.

FONSECA, J. M. *Efeitos da Densidade de alojamento sobre o Desempenho de Frangos de Corte Criados em Sistema de Nebulização e Ventilação em Túnel* UFV, 57p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiência) Universidade Federal de Viçosa, 1998.

FREEMAN, B. M. *The Fowl and its Physical Environment* *World's Poultry Science Journal*, V. 25 p 99-111, 1968

EVANGELISTA,A. W. P.,CARVALHO, L. G., SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.3, p.445-452, 2002

HAHN, G. L. & OSBURN D. D. *Feasibility of Summer Environmental Control for Dairy Cattle Based on Expected Production Losses*, Transaction of American Society of Agricultural Engineers, v.12, p.448-450, 1969.

HAHN, L. & OSBURN, D. D. *Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle based on expected production losses*. Transaction of American Society of Agricultural Engineers, v.13, n.3, p.289-291, 1970.

HAHN, G. L. Management and housing of farm animals in hot environments In: Stress physiology in livestock (M. K. Yousef, ed), vol. II. Boca Raton: CRC Press, 1985

GATES, R.S., ZHANG, S.H., COLLIVER, D. G., OVERTHULTS, D.G., 1995. *Regional Variation in temperature humidity index for poultry housing*. Transactions of the Asae, Vol. 38 (1): 197-205, 1995.

GATES, R. S., OVERRHULTS, D.G. and ZHANG, S. H, *Minimum ventilation for modern broiler facilities*, Transactions of the Asae, Vol. 39(3): 1767-1770, 1996.

GEO WORLD - Apr 2000 - Endeavour Maps the World in Three Dimensions. <http://www.geoplace.com/gw/2000/0400/0400tec.asp>, acessado em 20/03/2003.

IMAEDA, N. *Influence of the Stocking Density and Rearing Season on Incidence of Sudden Death Syndrome in Broiler Chickens*, Poultry Science, v.79, p.201-204, 2000

INEMET *NORMAIS CLIMATOLÓGICAS* (1961-1990) Departamento Nacional de Meteorologia, Brasília, 1992.

LUCAS; M. E., RANDALL, J. M., MENESES, J. F. Potential for Evaporative Cooling during Heat Stress Periods in Pig Production in Portugal (Alentejo) *J. agric. Eng Res.* 76, 363-371, 2000.

KANAMITSU, M. , W. Ebisuzaki, J. Woollen, S-K Yang, J.J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter. NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bul. of the Atmos. Met. Soc.* 1631-1643, Nov 2002 .

KISTLER, R, Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M ., Kousky, V., Dool, H. Jenne, R. and Fiorino, M. The NCEP/NCAR 50 year Re-Analysis Bulletin of the American Meteorological Society, 2001.

MALUF, J. R. T., CUNHA, G. R., MATZENANER, R. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo v.9 n.3, p.446-459 ,2001.

McDOWELL, R. E. *Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales*. Zaragoza: Acribia, Zaragoza, 1974. 692p.

MEDEIROS, C. M. *Desenvolvimento e aplicação de modelo para simulação do desempenho de galinhas poedeiras e frangos de corte com o uso do resfriamento evaporativo*. Viçosa, MG: UFV, 1997. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MEDEIROS, C.M. *Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte*. Viçosa, UFV, 2001. 115p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.

MORAES, L. N. P. Atualização das técnicas de avaliação do desempenho de frangos de corte. IV Simpósio Goiano de Avicultura, 2000.

NATIONAL WEATHER SERVICE Central region. Livestock hot weather stress. Letter C - 31 -76, 1976.

NEW, M., M. HULME and P. JONES, Representing twentieth-century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 12, 829-856, 1999.

OLIVEIRA, L. M. F. *Zoneamento de índice de conforto térmico animal e humano para a região Sudeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, 2004.

PARMAR, R. S., DIEHL, K. C., COLLINS JR , E. R., HULET, R. M. Simulation of a Turkey House Environment *Agricultural Systems* 38 p. 425-445, 1992.

PEDERSEN, S. & THOMSEN, M. G. *Heat and moisture production of broilers kept on straw bedding*. *Journal of Agricultural Engineering Research* 75:177-187, 2000.

PERDOMO, C. C. *Mecanismos de aclimação de frangos de corte como forma de reduzir a mortalidade no inverno e verão*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, SOBRE INSTALAÇÕES E AMBIÊNCIA, 1998, São Paulo. Anais..., São Paulo: FACTA, 1998. p.229-239.

PIASENTIN, J. A. *Conforto medido pelo índice de temperatura do globo e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa, MG* Tese de Mestrado Viçosa : UFV, Impr. Univ., 1984 98p.

REECE, F. N. & LOTT, B. D. *Heat and moisture production of broiler chickens*. In: LIVESTOCK ENVIRONMENT II, Ames: American Society of Agricultural Engineers, 1982, p.330-337.

RUTZ, F. *Aspectos fisiológicos que regulam o conforto térmico das aves*. In: CONFERÊNCIA APINCO 1994 DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLAS, 1994, São Paulo. Anais..., São Paulo: FACTA, 1994. p.99-136.

SAILOR, D. J. *Climate Downscaling* <<http://www.me.tulane.edu/faculty/sailor/homepage/sailorgroup/>>, 2002

SCHMID, A. L. *Refletindo sobre o calor*. *Avicultura Industrial*, v.88, n.1057, p.18-23, 1998.

SCHULZE, R. Transcending scales of space and time in impact studies of climate and climate change on agrohydrological responses *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, p.185–212, 2000.

SILVA, C. S., ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Passo Fundo v.9 n.3, p.536-543, 2001.

SILVA JÚNIOR, J. L. C. *Zoneamento da região sudeste do Brasil, utilizando o índice de temperatura e umidade, para o gado leiteiro* / Editor Viçosa : UFV, 2001.

SILVA, M. P. *Avaliação de um modelo simplificado para estimativa do balanço de energia em galpões para produção de frangos de corte e zoneamento do potencial de uso do resfriamento evaporativo para a região Sudeste* Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Viçosa : UFV, 2003.

SILVA, R. G. *Introdução à bioclimatologia animal*, São Paulo, Nobel, 2000.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, *Desempenho do Setor Avícola*. 10/06/2002. <http://snagricultura.org.br/aves.htm>

SPIEGEL, M. R. *Estatística*, São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1977

STEIN, A., Riley, J. and Halberg, N. Issues of scale for environmental indicators, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 87, Issue 2, Pages 215-232, November 2001.

TEIXEIRA, V. H. *Construções e ambiência*. Lavras, MG: ESAL/FAEPE, 1991. 127p.

TEIXEIRA, A. H. C., SOUZA, R. A., RIBEIRO, P. H. B, REIS, V, C. S., SANTOS, M. G. L. Aptidão agroclimática da cultura da videira no Estado

da Bahia, Brasil *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.107-111, 2002.

THOM, E. C. *The discomfort index*. *Weatherwise*, v.12, n.1, p.57-60, 1959.

TINÔCO, I. F. F. *Sistema de resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de cortes*, Viçosa, UFV, 1988. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.

TINÔCO, I.F.F., RESENDE, P.L. *Produção de frango de corte em alta densidade*, Viçosa: Manual CPT-Centro de Produções Técnicas, 1997. 20p.

TINÔCO, I.F.F. *Ambiência na Produção de Matrizes Avícolas – AMBIÊNCIA NA PRODUÇÃO DE AVES EM CLIMA TROPICAL – v. 2*, FUNED, Piracicaba-SP, p.1-43, 2001a.

TINÔCO, I.F.F. *Notas de aula da disciplina ENG 652 Instalações e Ambiência para a Produção Animal*, 2001b.

TURNPENNYA, MCARTHUR, A.J., C.M., CLARK, J.A., J.R., WATHES *Thermal balance of livestock 1. A parsimonious model* *Agricultural and Forest Meteorology* 101 15–27, 2000a.

TURNPENNYA, J.R., WATHES, C.M., CLARK, J.A., MCARTHUR, A.J. *Thermal balance of livestock 2. Applications of a parsimonious model* *Agricultural and Forest Meteorology* 101 29–52, 2000b.

VO, K. V, M. A. Boone, and W.e. Mulliken, *Exposure of broiler to continuous high temperature stress* *Pout. Res. Series No. 36*, Clemson University, Clemson, SC. (apud COOPER & WASHBURN, 1998), 1977

XIN, H., CHEPETE, H. J., E Sell J. L. *Heat and moisture production and minimum ventilation requirements of Tom turkeys during brooding-growing period*. *Transactions of the ASAE* 35(1):2249-2254, 1998.

XIN, H., BERRY, I. L., TABLER, G. T, COSTELLO, T. A. *Heat and moisture production of broiler chickens in commercial housing*. IN: *Proc. Of Sixth International Livestock Environment Symposium*, St. Joseph, MI, USA:ASAE, 2001.

ZHANG, H. & GATES, R.S. *Psychrometric computing and source code generators*, <http://www.bae.uky.edu/gates/psych/psych.htm>, 1995.

ZHANG, H., GATES, R.S. e COLLIVER, D.G. *Turing Machine approach to solve psychrometric attributes*. *Transactions of the ASAE*. 40(3):823-831, 1997.

ZOLNIER, Sérgio, Potencialidade da Utilização do Sistema de Resfriamento Adiabático Evaporativo na Produção de Leite. Viçosa, UFV, Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

ZOLNIER, S.; BAÊTA, F.C.; PEREIRA, A.A. *Metodologia alternativa para avaliação do potencial de utilização do sistema de resfriamento evaporativo na produção de leite*. Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa-MG, v.5 n.15, p.1-15,1996.