



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL – INPE

MODELAGEM NUMÉRICA DOS PROCESSOS DE SUPERFÍCIE E CAMADA LIMITE PLANETÁRIA DA ATMOSFERA (PQ019)



SUA PROVA

- Além deste caderno contendo 5 (cinco) questões discursivas **com as respectivas folhas de rascunho**, você receberá do fiscal de prova as folhas de textos definitivos;



TEMPO

- Você dispõe de 4 (quatro) horas para a realização da prova;
- 2 (duas) horas após o início da prova, é possível retirar-se da sala, sem levar o caderno de questões;
- A partir dos 30 (trinta) minutos anteriores ao término da prova é possível retirar-se da sala **levando o caderno de questões**.



NÃO SERÁ PERMITIDO

- Qualquer tipo de comunicação entre os candidatos durante a aplicação da prova;
- Anotar informações relativas às respostas em qualquer outro meio que não seja no caderno de questões e nas folhas de textos definitivos;
- Levantar da cadeira sem autorização do fiscal de sala;
- Usar o sanitário ao término da prova, após deixar a sala.



INFORMAÇÕES GERAIS

- Verifique se seu caderno de questões está completo, sem repetição de questões ou falhas. Caso contrário, **notifique imediatamente o fiscal da sala**, para que sejam tomadas as devidas providências;
- Confira seus dados pessoais, especialmente nome, número de inscrição e documento de identidade e leia atentamente as instruções para preencher as folhas de textos definitivos;
- Para o preenchimento das folhas de textos definitivos, use somente caneta esferográfica, fabricada em material transparente, com tinta preta ou azul;
- Assine seu nome apenas no(s) espaço(s) reservado(s) no cartão de respostas;
- Caso você tenha recebido caderno de cargo **diferente** do impresso em suas folhas de textos definitivos, o fiscal deve ser **obrigatoriamente** informado para o devido registro na ata da sala;
- O preenchimento das folhas de textos definitivos é de sua responsabilidade e **não será permitida a troca de folha de texto definitivo em caso de erro cometido pelo candidato**;
- Para fins de avaliação, serão levadas em consideração apenas os textos das folhas de textos definitivos;
- A FGV coletará as impressões digitais dos candidatos na lista de presença;
- Os candidatos serão submetidos ao sistema de detecção de metais quando do ingresso e da saída de sanitários durante a realização das provas.
- **Boa prova!**

QUESTÃO 1

Considerando a equação do balanço de radiação e a equação simplificada do balanço de energia à superfície, respectivamente,

$$R_n = S_{in} - S_{out} + L_{in} - L_{out} \quad \text{e} \quad R_n = H + LE + G,$$

em que S_{in} representa o fluxo de radiação solar incidente, S_{out} , o fluxo de radiação solar refletida, L_{in} , o fluxo de radiação de onda longa atmosférica descendente, L_{out} , o fluxo de radiação de onda longa emergente da superfície para a atmosfera, R_n , o saldo de radiação, H , o fluxo de calor sensível, LE , o fluxo de calor latente e G , o fluxo de armazenamento.

Considerando ainda que os fluxos turbulentos de calor sensível e de calor latente na camada limite superficial sejam representados por equações fluxo-gradiente do tipo

$$F_x \propto K_x \frac{\Delta x}{\Delta z},$$

em que F_x representa o fluxo turbulento e K_x , o coeficiente de transporte turbulento de um escalar x qualquer, é possível determinar uma temperatura efetiva de superfície que, nos esquemas de processos de superfície continental, é comumente referida como temperatura de equilíbrio radiativo.

Utilizando as informações, responda aos itens a seguir.

- A) Combine as três equações em uma única equação em que a temperatura de equilíbrio radiativo apareça explicitamente nos termos L_{out} , H , LE e G , e o albedo e a emissividade da superfície também apareçam explicitamente. Considere $G = K_s (T_s - T_g)/\Delta z_g$, onde K_s a condutividade térmica do solo, T_g a temperatura do solo na profundidade z_g e T_s a temperatura da superfície.
- B) Descreva em termos gerais, considerando o perfil vertical de temperatura do ar e a intensidade do vento horizontal, como o coeficiente de transporte turbulento K_x é afetado pela estabilidade estática da camada superficial em condições típicas do dia e da noite.
- C) Descreva, também em termos gerais, qual(ais) fator(es) é (são) determinante(s) na partição do saldo de radiação em fluxo de calor sensível, fluxo de calor latente, fluxo de armazenamento e na temperatura da superfície na ausência de gelo e de neve.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

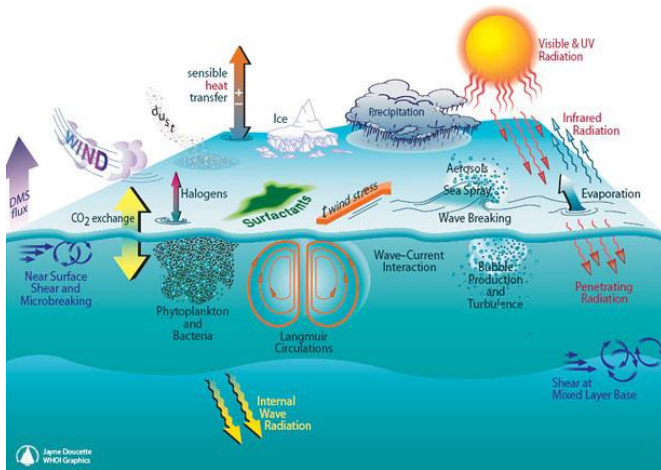
60

QUESTÃO 2

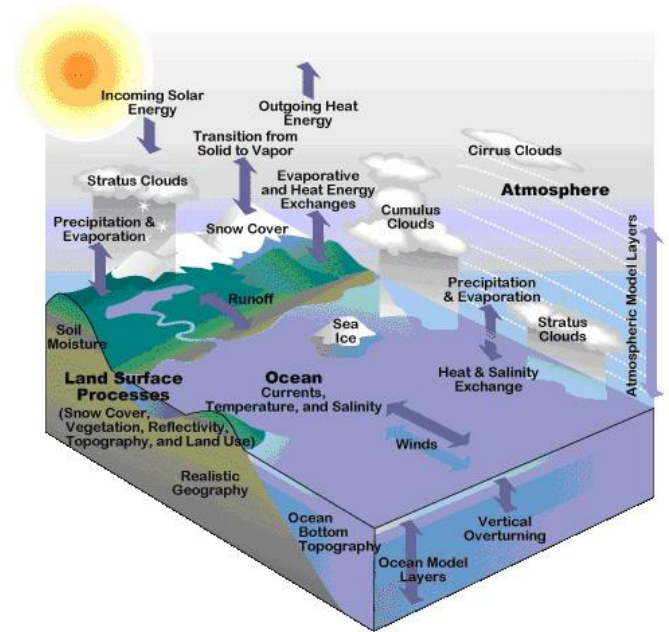
Os oceanos cobrem uma parcela significativa da superfície terrestre, portanto os oceanos possuem uma importância significativa nos processos e fluxos de superfície dentro de modelos climáticos do sistema terrestre.

Alguns processos e fluxos de superfície entre componentes do sistema terrestre são apresentadas nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Fluxos entre a atmosfera e os oceanos.



(Fonte: <https://www2.whoi.edu/site/casimas/>)



(Fonte: www.windows2universe.org/earth/Water/ocean_atmosphere_coupling.html)

Uma das principais forçantes dos modelos climáticos do sistema terrestre é a concentração de CO₂ atmosférico. O CO₂ apresenta um ciclo biogeoquímico que engloba todas as componentes do sistema terrestre, inclusive os oceanos. A figura 3 apresenta as componentes como reservatório de CO₂ (sendo, 1 Gt C = 10¹⁵ g C/ano).

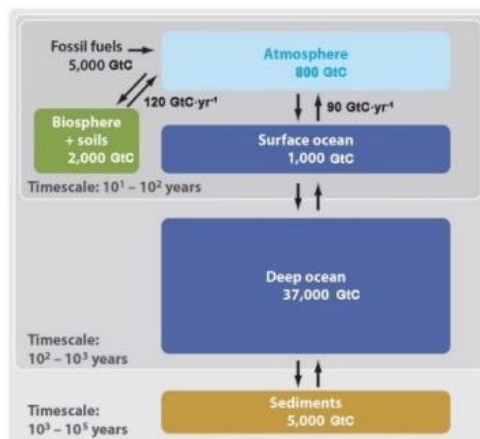


Figura 3 – esquemática dos reservatórios e fluxos de carbono no sistema terrestre.

(Adaptado de Goosse et. al., 2010)

Dentro deste contexto, responda aos itens a seguir.

- A) Descreva o ciclo do CO₂ nos modelos climáticos do sistema terrestre.
- B) Descreva o papel dos oceanos nos ciclos do CO₂ nestes modelos.
- C) Descreva os principais processos que modulam os fluxos de CO₂ entre o oceano e atmosfera.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 3

Nos *modelos de superfície*, tais como os modelos SIB e Noah-MP, amplamente utilizados em modelos de circulação geral, o balanço de água no solo é realizado por meio do princípio de conservação da massa.

Sobre o tema, responda aos itens a seguir.

- A) Considerando um escoamento de água unidimensional na direção vertical, escreva e descreva cada um dos termos da equação de balanço de umidade no solo. Considere a camada superior do solo.
- B) Para um solo homogêneo e saturado, descreva o método para determinar o fluxo de água no solo e apresente a expressão matemática correspondente.
- C) Se houver, discuta as limitações associadas à aplicação do método apresentado no item B.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 4

Uma boa representação da vegetação em modelos numéricos de superfície é determinante para a simulação adequada de processos biogeofísicos e biogeoquímicos que afetam o sistema climático.

A estrutura típica de processos em um modelo de vegetação dinâmica é apresentada na Figura 1.

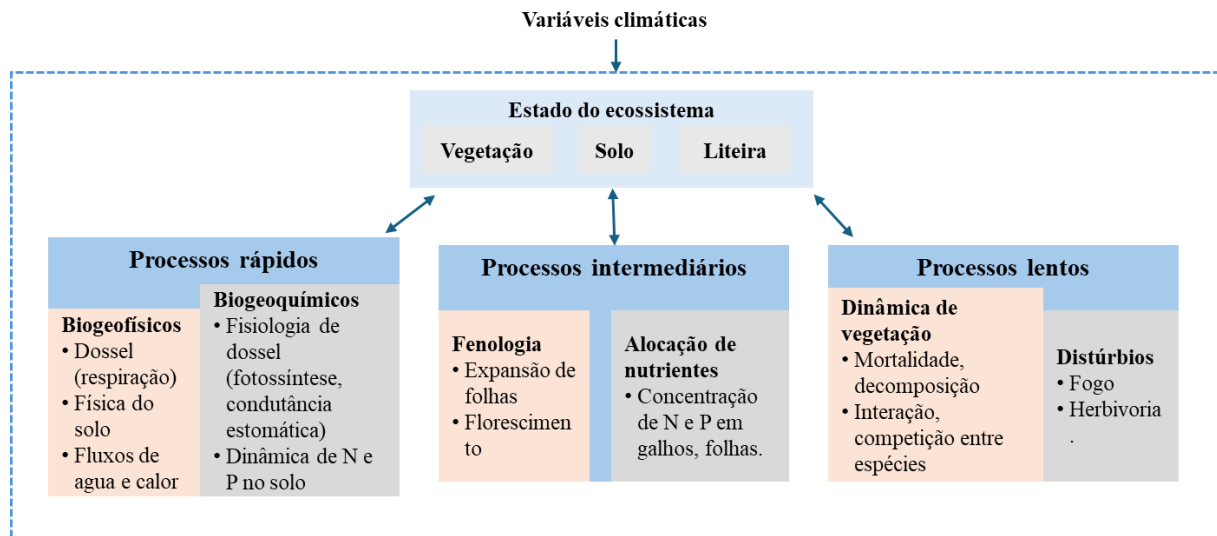


Figura 1 – Estrutura típica de modelo de dinâmica de vegetação. Adaptado de Tyagi et al. 2021.

Neste contexto, responda aos itens a seguir.

A) Apresente uma breve descrição de como os modelos numéricos de superfície simulam a dinâmica da vegetação e os ciclos biogeoquímicos de carbono e nutrientes.

Em sua resposta, aborde os seguintes itens:

- I. escala espaço-temporal dos processos explicitamente simulados;
- II. descrição sucinta da representação numérica dos principais processos;
- III. principais *outputs* (ou saídas) do modelo.

B) Ao final, apresente um exemplo de processo de retroalimentação entre clima e vegetação que envolva ciclos biogeoquímicos e que possa ser simulado em um modelo de superfície operando como parte de um Modelo do Sistema Terrestre.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

QUESTÃO 5

Em ambientes florestais, as folhas das árvores, por meio da fotossíntese (A), são a principal estrutura de captura de dióxido de carbono do ecossistema. Devido à sua estrutura morfológica, o conjunto de folhas de um dossel florestal aumenta consideravelmente a interface potencial de trocas gasosas entre a biosfera e a atmosfera. Por sua vez, a condutância estomática (g_s) modula a área efetiva das trocas gasosas desse conjunto de folhas.

Sendo as folhas órgãos com alta atividade metabólica, a respiração foliar (R_f) é uma importante componente da respiração do ecossistema (R_e). Além disso, órgãos fotossintetizantes apresentam um terceiro processo relevante para a ciclagem do carbono, a fotorrespiração.

Todos os processos descritos acima são fortemente influenciados por condições ambientais como: temperatura, irradiância, umidade relativa e $[CO_2]$.

Considerando o exposto, responda aos itens a seguir.

- A) Explique como a temperatura influencia diretamente a A e a R_f .
- B) Descreva o que é a g_s e qual a importância da sua regulação pelas plantas; cite ao menos três fatores ambientais que afetam g_s ; e explique os mecanismos pelos quais a g_s modula o balanço de carbono em uma folha.
- C) Descreva ao menos uma abordagem usada para escalonar a A da escala de folha para o dossel de uma floresta. Cite vantagens e desvantagens da abordagem escolhida.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

Realização

