



Escola Politécnica

Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental



Universidade de São Paulo

PHD5036
Modelagem de Processos Hidrológicos

Solo: Características físico-hídricas
Balanço hídrico do solo

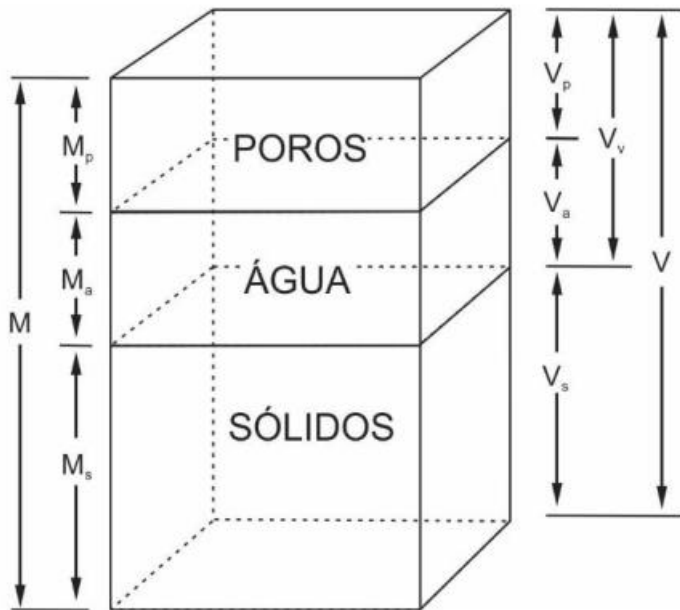
Aula 6

Arisvaldo V. Mélo Jr.
arisvaldo@usp.br

LabSid

Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões
Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Umidade, Porosidade, Índice de saturação, Densidade (Molina Júnior (2017))



$$\frac{Dg}{Dp} = \frac{Vs}{V}$$

$$V = Vs + Vv$$

$$1 = Vs + n \therefore Vs = 1 - n$$

$$\frac{Dg \cdot V}{Dp} = 1 - n \therefore n = 1 - \frac{Dg}{Dp}$$

A Dp média do solo não varia sensivelmente e pode ser igual a 2,65 g cm⁻³ para a maioria dos solos minerais, mas não para solos com teores maiores que 5% de matéria orgânica.

$$\theta u = \frac{Ma}{M} = \frac{Va}{V}$$

$$\theta s = \frac{Ma}{Ms} = \frac{Va}{Vs}$$

$$V = Vs + Va + Vp$$

$$Vv = Va + Vp$$

$$n = \frac{Vv}{V}$$

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

$$S = \frac{Va}{Vv}$$

$$Dg = \frac{Ms}{V}$$

$$Dp = \frac{Ms}{Vs}$$

θu – umidade do solo (teor de água) em massa o volume úmido

θu – umidade do solo (teor de água) em massa o volume seco

Ma – massa de água (g)

Ms – massa de sólidos (g)

Vs – volume do sólidos (orgânicos e minerais), cm³

Va – volume de poros ocupado pela solução do solo (água e sais minerais), cm³

Vp – volume de poros não ocupado pela solução do solo (gases da atmosfera), cm³

Vv – volume de vazios, cm³

n – porosidade (%)

e – índice de porosidade (%)

S – índice de saturação (%)

Dg – densidade global (g cm⁻³)

Ds – densidade real ou de partículas (g cm⁻³)

ABNT NBR 16840/2020 – Solo: determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos

ABNT NBR 16843/2020 – Solo: determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos

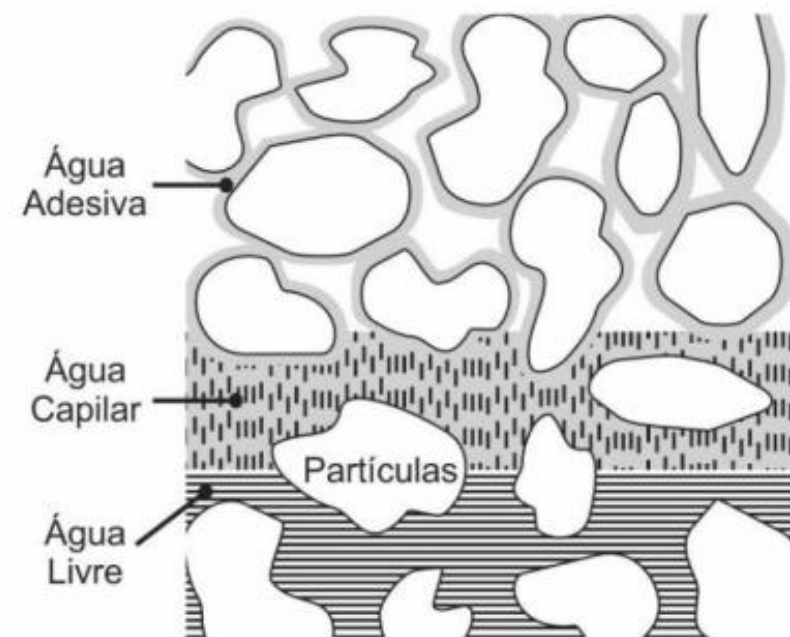
ABNT NBR 6457/2016 – Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaio de caracterização

ABNT NBR 14545/2021 – Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável

ABNT NBR 13292/2021 – Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solo granulares à carga constante

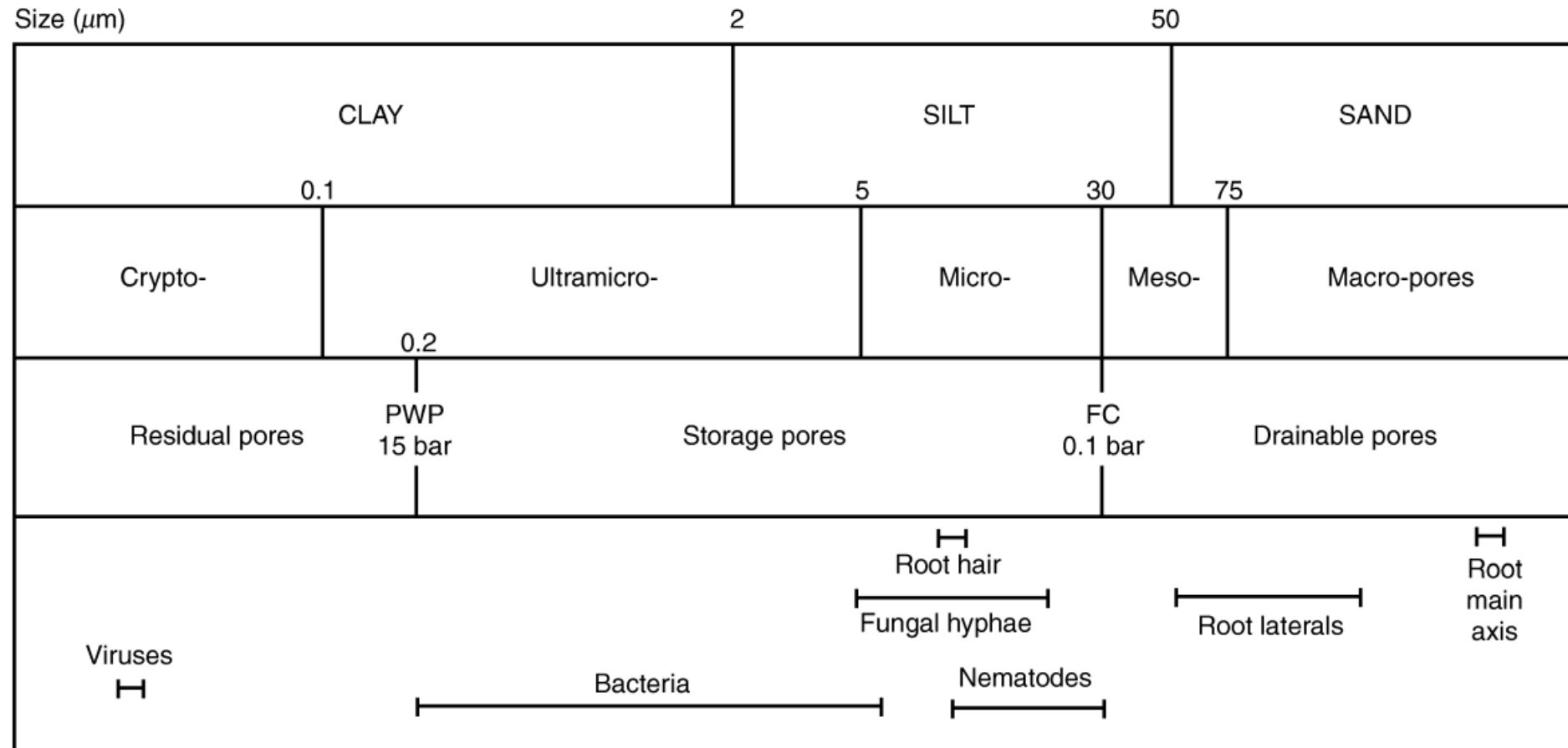
■ Coesão

- Capacidade de adsorção de água pelas partículas de solo
- Grande importância em solo com partículas de dimensões reduzidas (textura fina)
- Solo arenoso (partículas de maiores dimensões) apresentam menores propriedades coesivas
- A água adsorvida está sujeita a grandes tensões
- Solos coesos possuem a propriedade de manter suas partículas agregadas na forma de torrões ou blocos



Molina Júnior (2017)

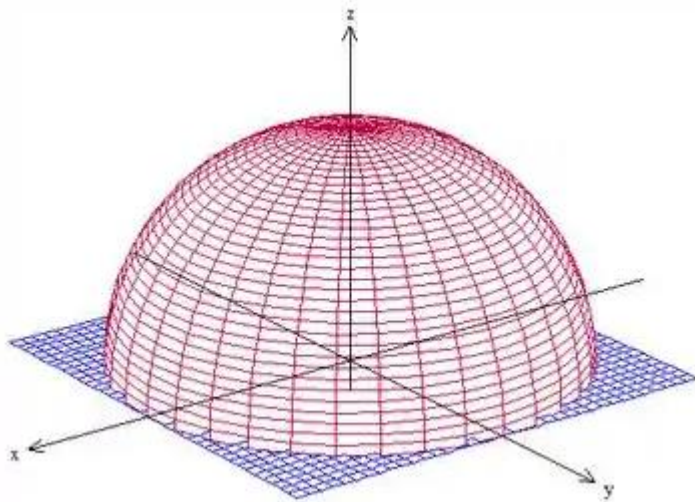
Distribuição de tamanho de poros



LAL (2107)

$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$
 $1 \text{ bar} = 0,9869 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$

Volume de uma esfera usando coordenadas polares



Equação cartesiana da esfera com centro na origem e raio a :

$$x^2 + y^2 + z^2 = a^2$$

$$r^2 + z^2 = a^2$$

$$z = \pm \sqrt{a^2 - r^2}$$

$$V = 2 \cdot \iint_R \underbrace{f(r, \theta)}_{\text{cobertura}} \cdot \underbrace{r \cdot dr \cdot d\theta}_{\text{Elemento de área}}$$

$$V = 2 \cdot \int_0^{2\pi} \left[\int_0^a \sqrt{a^2 - r^2} \cdot r \cdot dr \right] \cdot d\theta$$

$$V = 2 \cdot \int_0^{2\pi} \left[-\frac{1}{3} \cdot (a^2 - r^2)^{3/2} \right]_0^a \cdot d\theta$$

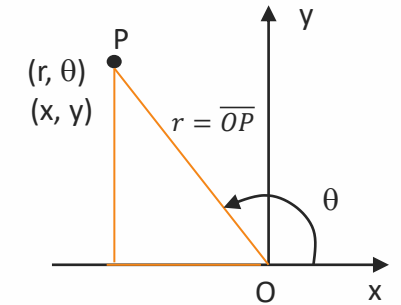
$$V = -\frac{2}{3} \cdot \int_0^{2\pi} (a^2 - a^2)^{3/2} - (a^2 - 0^2)^{3/2} \cdot d\theta$$

$$V = -\frac{2}{3} \cdot \int_0^{2\pi} -(a^2)^{3/2} \cdot d\theta$$

$$V = \frac{2}{3} \cdot \int_0^{2\pi} a^3 \cdot d\theta = \frac{2}{3} \cdot a^3 \cdot \theta \Big|_0^{2\pi}$$

$$V = \frac{2}{3} \cdot a^3 \cdot (2\pi - 0) = \frac{4\pi}{3} \cdot a^3$$

$$V = \frac{4\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^3}{3} = \frac{\pi \cdot D^3}{6}$$



$$\cos \theta = \frac{x}{r} \therefore x = r \cdot \cos \theta$$

$$\sin \theta = \frac{y}{r} \therefore y = r \cdot \sin \theta$$

Para coordenadas polares de um ponto elevar-se ao quadrado as equações

$$r^2 = r^2 \cdot \cos^2 \theta + r^2 \cdot \sin^2 \theta$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$u = a^2 - r^2$$

$$\frac{du}{dr} = -2r \therefore dr = \frac{du}{-2r}$$

$$\int (a^2 - r^2)^{1/2} \cdot r \cdot dr$$

$$\int (u)^{1/2} \cdot r \cdot \frac{du}{-2r} \implies \int u^n \cdot du = \frac{u^{n+1}}{n+1} + C \quad (n \neq -1)$$

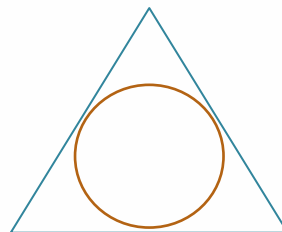
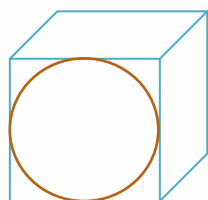
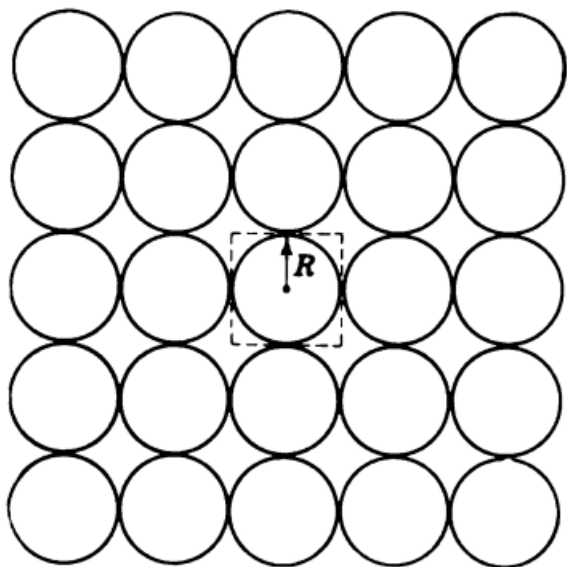
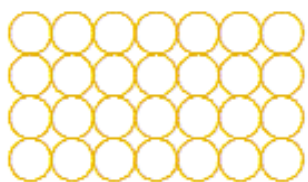
$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{u^{3/2}}{3/2} = -\frac{1}{3} \cdot u^{3/2} + C$$

Empacotamento mais próximo de esferas semelhantes – Eficiência de ocupação do espaço

6

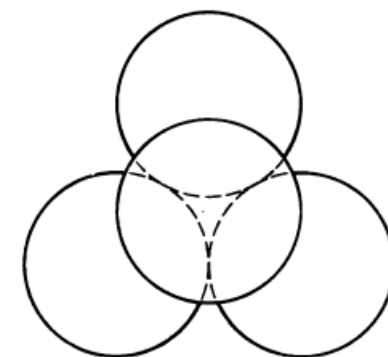
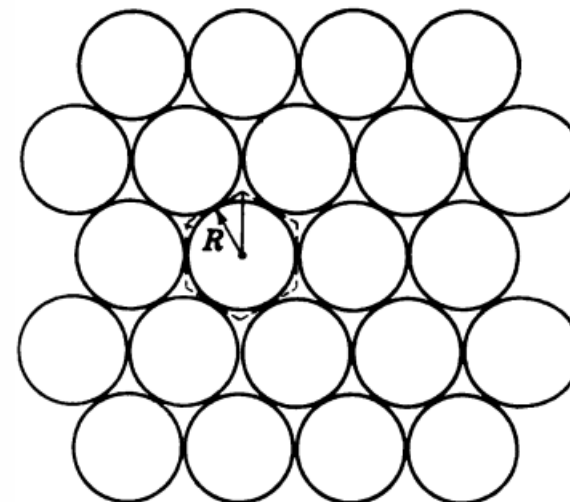
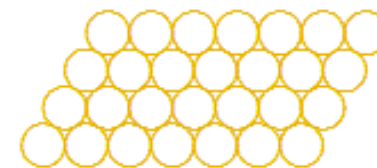
No plano cada esfera entra em contato com 4 vizinhas

Matriz cúbica



Quatro esferas dispostas nos quatro vértices de um tetraedro

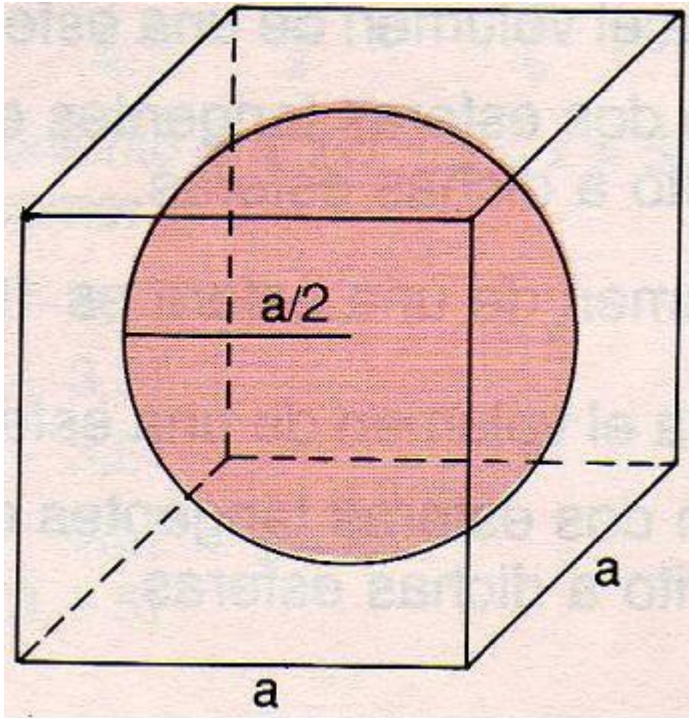
Matriz densa



Cada esfera ocupa:

$$V = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 = \frac{\pi \cdot D^3}{6}$$

Cubo circunscrito à esfera

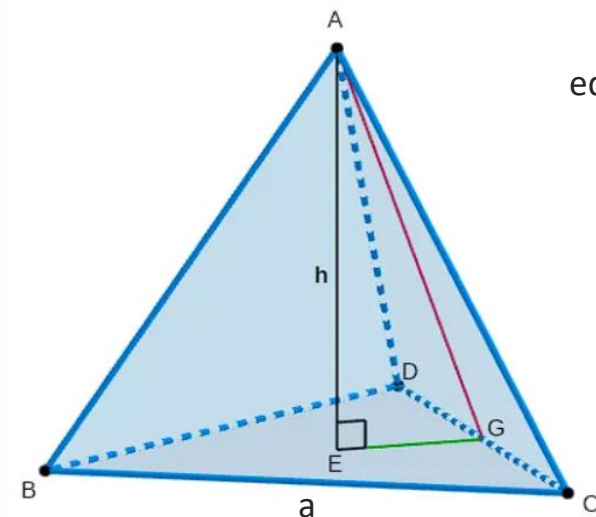


$$\frac{V_{esfera}}{V_{cubo}} = \frac{\frac{\pi \cdot D^3}{6}}{D^3} = \frac{\pi}{6} = 0,5236$$

$$V_{cubo} = D^2 \cdot D = D^3$$

$$n = 1 - 0,5236 = 0,4764$$

Tetraedro regular circunscrito à esfera



Triângulo equilátero AGC

$$AG^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = a^2$$

$$AG^2 = a^2 - \frac{a^2}{4}$$

$$AG = a \frac{\sqrt{3}}{2}$$

E é o baricentro de BCD

$$EG = \frac{1}{3} \cdot a \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$EG = a \frac{\sqrt{3}}{6}$$

Triângulo AEG

$$h^2 + (EG)^2 = (AG)^2$$

$$h^2 + \left(a \frac{\sqrt{3}}{6}\right)^2 = \left(a \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2$$

$$h = a \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$h = a \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}} = a \frac{\sqrt{6}}{3}$$

Área Triângulo ACD

$$A = \frac{DC \cdot AG}{2}$$

$$A = \frac{a \cdot a \frac{\sqrt{3}}{2}}{2}$$

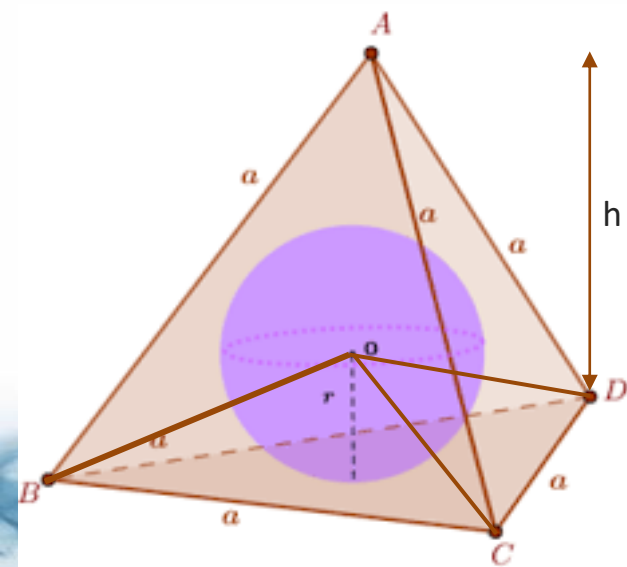
$$A = a^2 \frac{\sqrt{3}}{4}$$

Área e Volume do Tetraedro ABCD

$$A_T = 4 \cdot a^2 \frac{\sqrt{3}}{4} = a^2 \sqrt{3}$$

$$V_T = \frac{1}{3} \cdot (A_{base} \cdot h)$$

$$V_T = \frac{1}{3} \cdot \left(a^2 \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot a \frac{\sqrt{6}}{3}\right) = a^3 \frac{\sqrt{2}}{12}$$



- Decomposição do Tetraedro original em quatro congruentes de altura r (OBCD, OABC, OACD e OABD)
- Volume de cada tetraedro congruente:

$$v = \frac{1}{3} \cdot A_{base} \cdot r$$

- Volume total

$$V = 4 \cdot v = 4 \cdot \frac{1}{3} \cdot A_{base} \cdot r$$

- Volume do tetraedro original

$$V_T = \frac{1}{3} \cdot (A_{base} \cdot h)$$

$$V = V_T$$

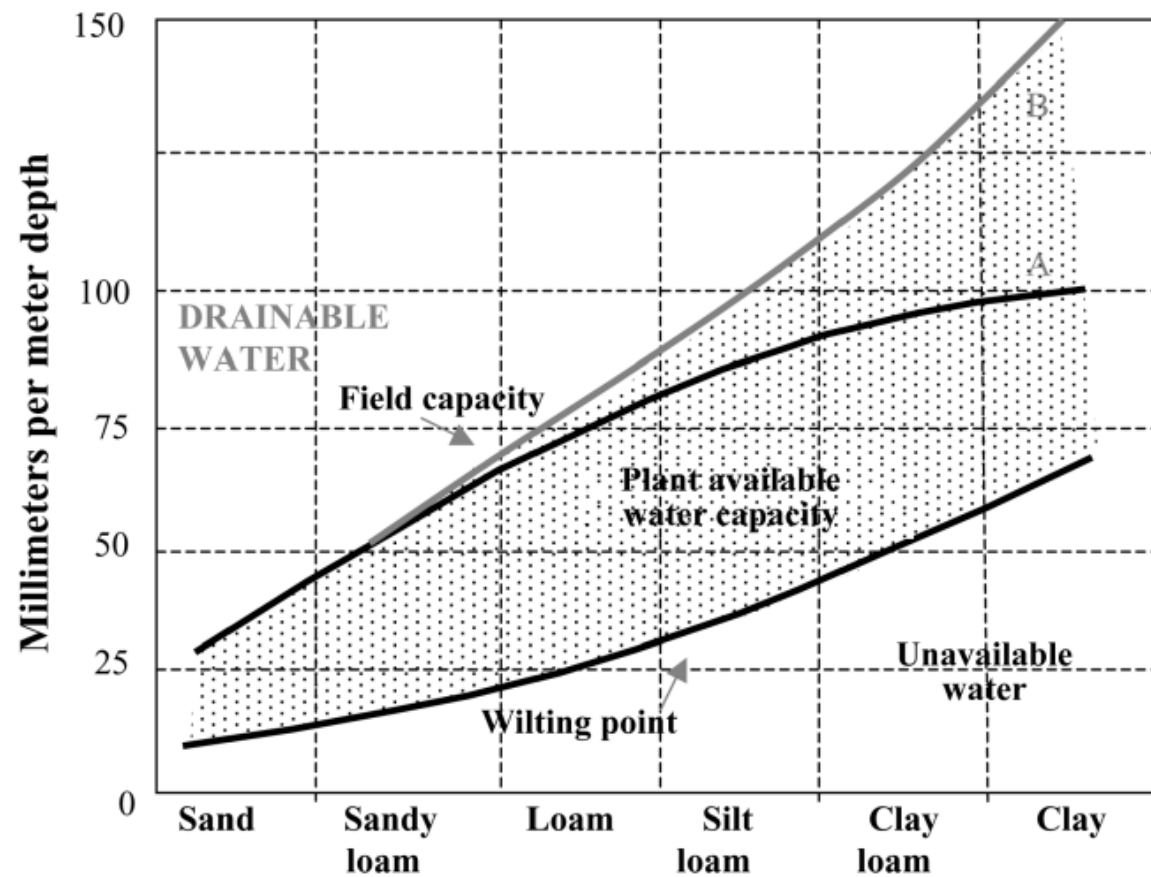
$$\frac{4 \cdot A_{base} \cdot r}{3} = \frac{1}{3} \cdot A_{base} \cdot h$$

$$4r = h \therefore r = \frac{h}{4}$$

$$\frac{V_{esfera}}{V_{tetraedro}} = \frac{\frac{4\pi}{3} \cdot r^3}{a^3 \frac{\sqrt{2}}{12}} = \frac{\frac{4\pi}{3} \cdot \left(\frac{a \frac{\sqrt{6}}{3}}{4}\right)^3}{a^3 \frac{\sqrt{2}}{12}} = \frac{\frac{4\pi}{3} \cdot \left(\frac{a \sqrt{6}}{12}\right)^3}{a^3 \frac{\sqrt{2}}{12}} = \frac{\pi \sqrt{3}}{18} = 0,3023$$

$$n = 1 - 0,3023 = 0,6977$$

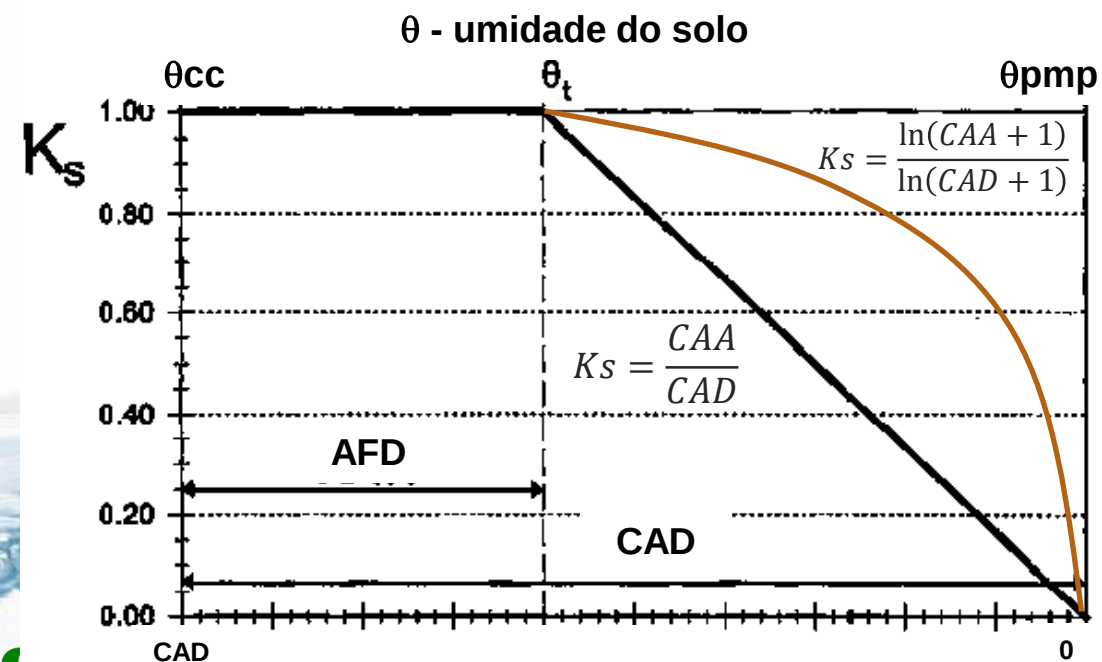
Capacidade de retenção de água para diferentes texturas de solo

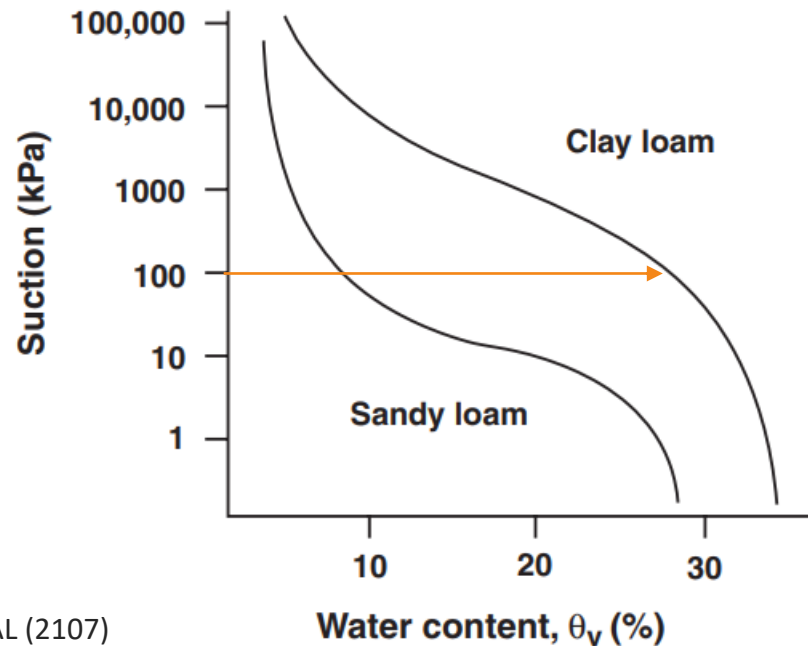


B: Solo com boa estrutura

A: Solo com estrutura pobre

Percentagem de redução de ET com a umidade do solo (K_s)





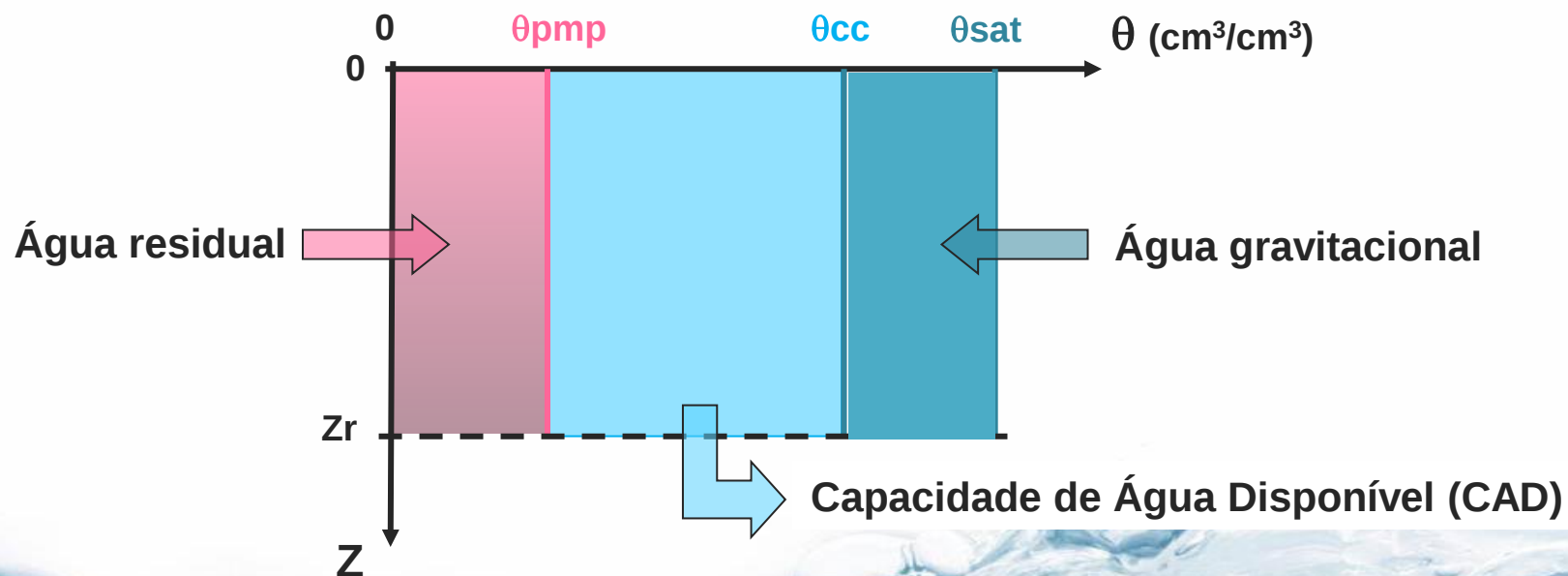
- Solo argiloso tem maior umidade para a mesmo potencial matricial
- A argila tem textura mais fina com poros menores
- Solo arenoso tem poros maiores e pode esvaziar com baixas tensões

Efeitos da Porosidade

- Armazenamento de água
 - Porosidade total e distribuição de tamanho de poros
- Condutividade hidráulica
 - Macroporos controla drenagem perto da saturação
 - Microporos regula a disponibilidade de água para as plantas
- Propriedades mecânicas
 - Resistência à penetração
 - Consistência
 - Capactação
 - Capacidade suporte

LAL (2107)

- Capacidade de água disponível no solo (CAD): representa a lâmina máxima de água que determinado tipo de solo pode reter em função de suas características físico-hídricas
 - umidade na capacidade de campo - θ_{cc}
 - umidade no ponto de murcha permanente - θ_{pmp}
 - massa específica do solo - d_g
 - profundidade efetiva do sistema radicular onde se concentram cerca de 80% das raízes - Z_r



$$CAD = \frac{CC - PMP}{100} \cdot d_g \cdot Z_r \cdot 10$$

CAD = capacidade de água disponível, mm

CC% = umidade na capacidade de campo, %

PMP% = umidade no ponto de murcha, %

d_g = massa específica do solo, g cm⁻³

Z_r = profundidade específica do sistema radicular, cm

$$\frac{g}{cm^3} \cdot cm = \frac{g}{cm^2} \cdot \frac{1L}{10^3g} \cdot \frac{10^4cm^2}{1m^2} = 10 \frac{L}{m^2} = 10 mm$$

CAD média p/ solos argilosos = 2,0 mm/cm
CAD média p/ solos de text. Média = 1,4 mm/cm
CAD média p/ solos arenosos = 0,6 mm/cm

Classes de solo

O

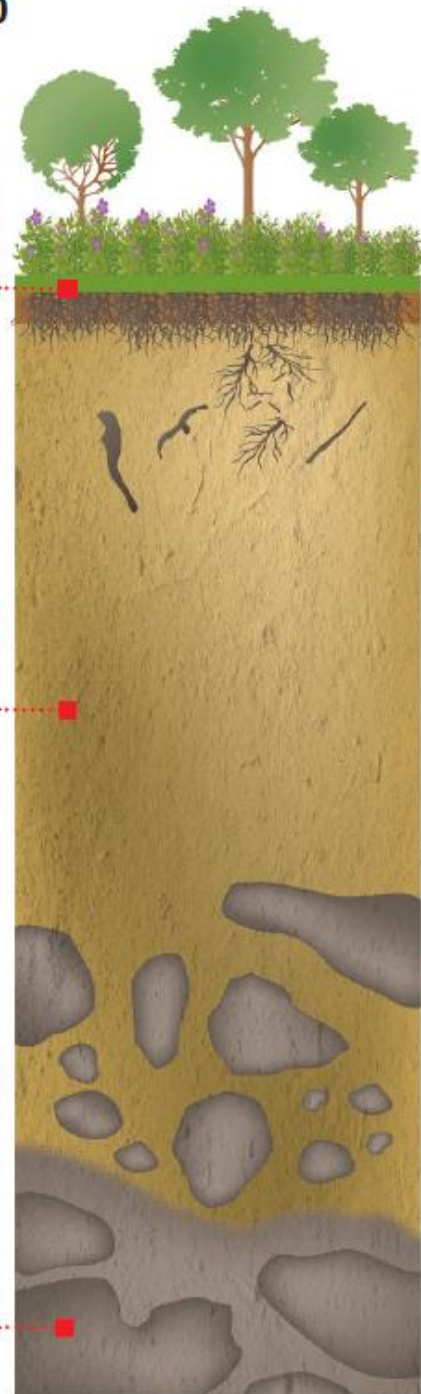
Horizonte orgânico, também denominado de serrapilheira. Corresponde à camada superficial de florestas e matas; é composto de materiais de origem vegetal e animal em decomposição.

B

Horizonte de acumulação de argila, matéria orgânica e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio provenientes das camadas superiores. Esse processo de transferência de minerais entre camadas é chamado lixiviação, considerado um tipo de erosão química do solo.

R

Rocha que dá origem ao solo, também denominada rocha-mãe. A velocidade de decomposição depende de vários fatores, como a composição mineral da própria rocha e o tipo de clima (climas quentes e úmidos tendem a acelerar o intemperismo).



O

A

B

C

R

A

Horizonte mineralógico. Composto de material de origem mineral proveniente da rocha-mãe ou trazido de outros lugares por vento, água ou gelo. Há grande presença de matéria orgânica decomposta, motivo pelo qual pode ser denominado horizonte húmico (húmus).

C

Horizonte de rocha alterada, denominado alterita ou saprolito. É nele que começa a decomposição da rocha. Formado por sedimentos grosseiros na base e por sedimentos mais finos na parte superior.

Classes	Elementos formativos	Termos de conotação e de memorização
ARGISSOLO	ARGI	Do latim <i>argilla</i> , “argila”; conotativo de solos com processo de acumulação de argila
CAMBISSOLO	CAMBI	Do latim <i>cambiare</i> , “trocar”, “mudar”; conotativo de solos em formação (transformação). Horizonte B incipiente
CHERNOSSOLO	CHERNO	Do russo <i>cherniy</i> , “preto”; conotativo de solos ricos em matéria orgânica, com coloração escura
ESPODOSSOLO	ESPODO	Do grego <i>spodos</i> , “cinza vegetal”; conotativo de solos com horizonte de acumulação iluvial de matéria orgânica associada à presença de alumínio. Horizonte B espódico
GLEISSOLO	GLEI	Do russo <i>gley</i> , “massa do solo pastosa”; conotativo de excesso de água. Horizonte glei
LATOSSOLO	LATO	Do latim <i>lat</i> , “tijolo”; conotativo de solos muito intemperizados. Horizonte B latossólico
LUVISSOLO	LUVI	Do latim <i>luere</i> , “lavar”; conotativo de translocação de argila. Horizonte B textural com alta saturação por bases e Ta
NEOSSOLO	NEO	Do grego <i>neo</i> , “novo”; conotativo de solos com pouco desenvolvimento pedogenético
NITOSSOLO	NITO	Do latim <i>nitidus</i> , “brilhante”; conotativo de superfícies brilhantes nas unidades estruturais. Horizonte B nítico
ORGANOSSOLO	ORGANO	Do latim <i>organicus</i> , “pertinente ou próprio dos compostos de carbono”; conotativo de solos com maior expressão da constituição orgânica. Horizonte H ou O
PLANOSSOLO	PLANO	Do latim <i>planus</i> , “plano”; conotativo de solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento estacional. Horizonte B plânico
PLINTOSSOLO	PLINTO	Do grego <i>plinthos</i> , “ladrilho”; conotativo de materiais argilosos coloridos que endurecem quando expostos ao ar. Horizonte plíntico
VERTISSOLO	VERTI	Do latim <i>vertere</i> , “virar”, “inverter”; conotativo de movimento de material de solo na superfície e que atinge a subsuperfície (expansão/contração). Horizonte vértico

1º Nível	2º Nível	3º Nível
C – CAMBISSOLO	A – AMARELO	a – Aluminico
E – ESPODOSSOLO	AC – ACINZENTADO	af – Alumínoférrico
F – PLINTOSSOLO	B – BRUNO	b – Argila atividade baixa
G – GLEISSOLO	BAC – BRUNO-ACINZENTADO	c – Concrecionário
L – LATOSSOLO	C – CRÔMICO	d – Distrófico
M – CHERNOSSOLO	D – RÊNDZICO	df – Distroférrico
N – NITOSSOLO	E – EBÂNICO	dx – Distrocoesos
O – ORGANOSSOLO	F – PÉTRICO	e – Eutrófico
P – ARGISSOLO	G – HIDROMÓRFICO	ef – Eutroférrico
R – NEOSSOLO	H – HÚMICO	ex – Eutrocoesos
S – PLANOSSOLO	I – HÍSTICO (MO elevada)	f – Férrico
T – LUVISSOLO	J – TIOMÓRFICO	fi – Fíbrico
V – VERTISSOLO	K – HUMILÚVICO	g – Hidromórfico
	L – LITÓLICO	h – Húmico
	M – MELÂNICO	i – Hístico
	N – NÁTRICO	j – Perférrico
	O – FÓLICO	k – Carbonático
	Q – QUARTZARÊNICO	l – Lítico
	R – REGOLÍTICO	lf – Litoplíntico
	S – FERRILÚVICO	lk – Petrocálcico
	SK – FERRI-HUMILÚVICO	m – Chernossólico
	T – ARGILÚVICO	n – Sódico
	V – VERMELHO	o – Órtico
	VA – VERMELHO-AMARELO	p – Pálico
	X – HÁPLICO	q – Psamítico
	Y – FLÚVICO	r – Saprolítico
	Z – SÁLICO	s – Sáprico
		t – Argilúvico
		u – Hiperespesso
		v – Argila atividade alta
		w – Ácrico
		wf – Acriférrico
		x – Coeso
		y – Hêmico
		z – Sálico

1º Nível: propriedade típicas da formação do solo

2º Nível: atributo importante para o desenvolvimento das plantas

3º Nível: arranjo dos horizontes, atividade da fração de argila, propriedade que restringe o desenvolvimento radícula e o movimento de água

ABNT NBR 6502/1996 – Rochas e Solos

		Classificação	Diâmetro de grãos (mm)
Cascalho		Bloco de rocha	> 1000
		Matação	200 a 1000
		Pedra de Mão	60 a 200
		Pedregulho Grosso	20 a 60
		Pedregulho Médio	6 a 20
		Pedregulho Fino	2 a 6
Areia		Areia Grossa	0,6 a 2
		Areia média	0,2 a 0,6
		Areia Fina	0,06 a 0,2
		Silte	0,002 a 0,06
		Argila	< 0,002

Classe de profundidade do solo

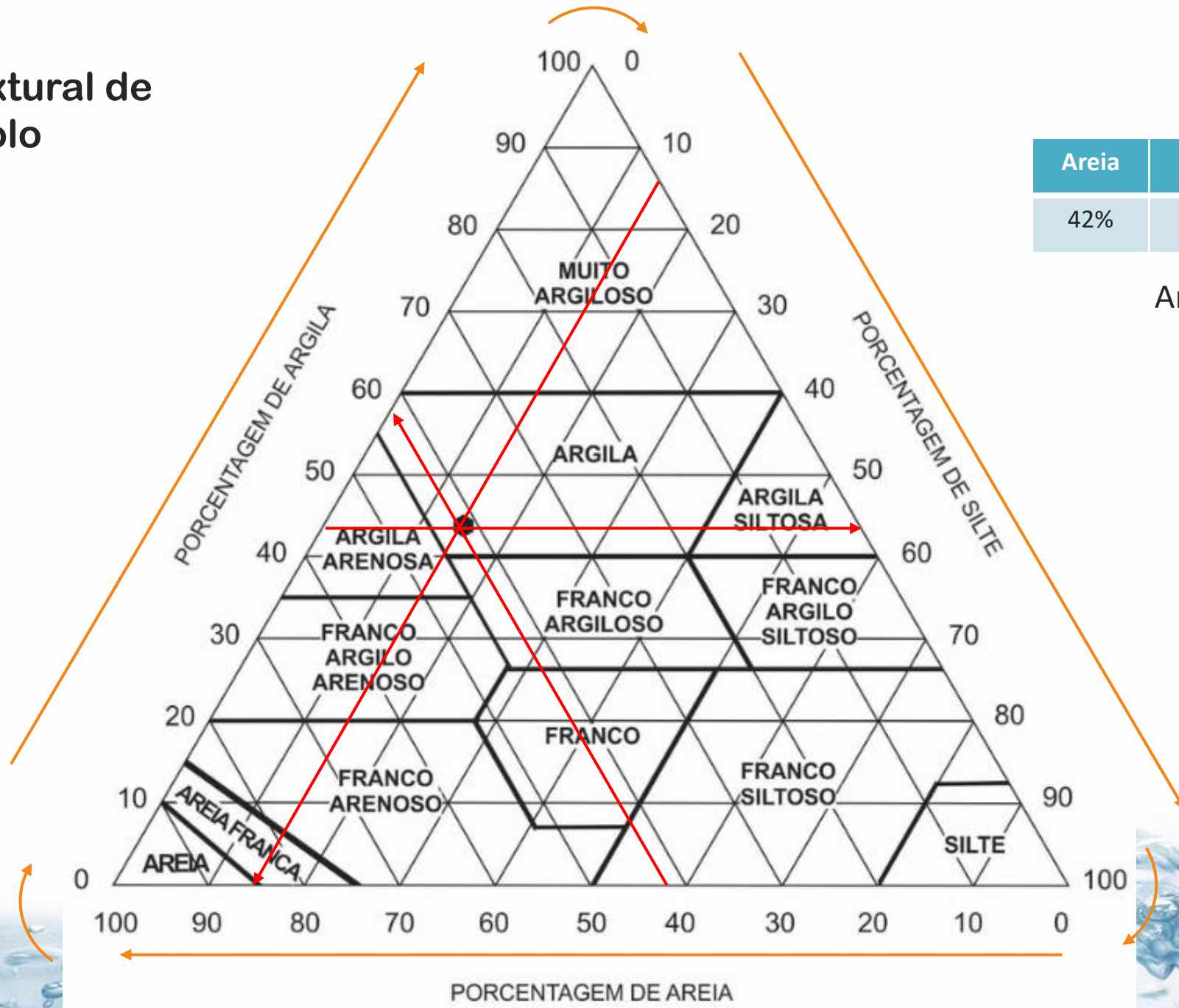
Classe	Profundidade
Raso	≤ 50 cm
Pouco Profundo	> 50 e ≤ 100 cm
Profundo	> 100 e ≤ 200 cm
Muito Profundo	> 200 cm

ABNT NBR 7181/2016 – Análise granulométrica

ABNT NBR 14545/2021 – Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável

ABNT NBR 13292/2021 – Solo: determinação do coeficiente de permeabilidade de solo granulares à carga constante

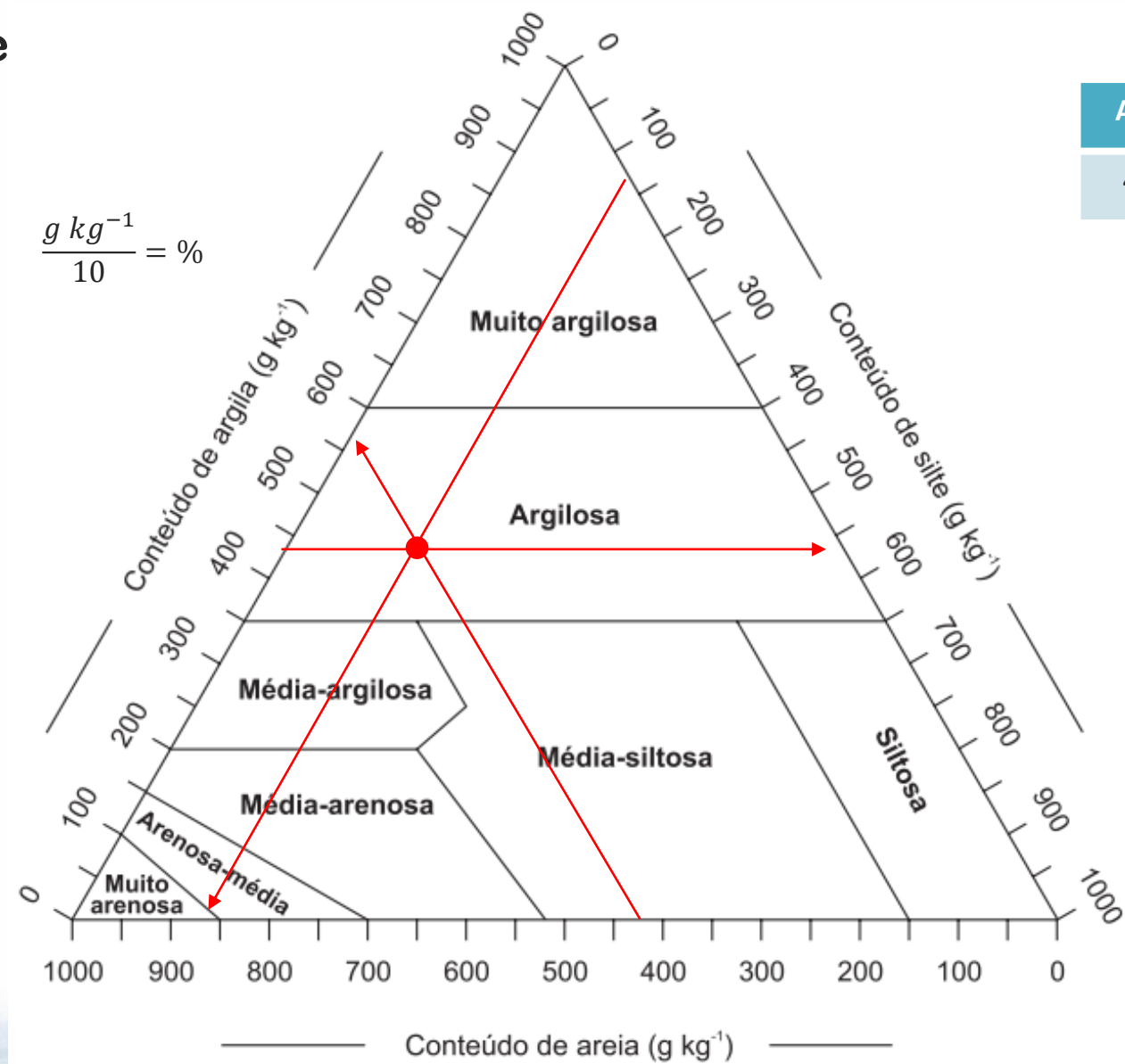
Triângulo Textural de classes de solo



Areia	Silte	Argila
42%	14%	44%

Argiloso

Triângulo Textural de classes de solo



Areia	Silte	Argila
42%	14%	44%

Argilosa

EMBRAPA (2018)

Classe	Símbolo	Granulometria (%)					MO%	Ksat	
		AG	AF	S	A	b	a		c
Latossolo Vermelho Amarelo (argiloso)	LVA	16	17	16	51	1	2,3	0,96	6
Latossolo Vermelho Amarelo (textura média)	LVA	29,7	37,9	5,3	27,1	1	2,5	1,18	5
Latossolo Vermelho (argiloso)	LV	2,3	5,3	25,4	67	1	2,4	0,18	6
Argissolo Vermelho Amarelo (textura média)	PVA	38,7	35,6	6,4	19,4	1	2,1	0,31	6
Argissolo Vermelho Amarelo (textura média a arenosa)	PVA	38,8	48	3,2	10	1	1,6	0,48	6
Argissolo Vermelho Amarelo (textura média a argilosa)	PVA	13,9	20,7	12,7	52,7	1	1,9	0,004	6
Neossolo Quartzarênico (textura arenosa)	RQ	14,4	77,6	3,7	4,3	1	1,3	203,1	1

AG – areia grossa (0,2 – 2 mm); AF – areia fina (0,05 – 0,2 mm); S – silte (0,002 – 0,05 mm); A – argila (< 0,002 mm); MO – matéria orgânica; Ksat – condutividade hidráulica do solo saturado (mm h⁻¹); a – parâmetro associado ao teor de matéria orgânica; b – parâmetro associado a estrutura do solo; c – parâmetro associado a condutividade hidráulica saturada.

Classe da estrutura do solo	Valor de b	Diâmetro grão (mm)
Granular muito fina	1	< 1
Granular fina	2	1 – 2
Granular média ou grossa	3	2 -10
Em blocos ou massivo	4	> 10

Fonte: LIN et al. (2019)

Classe de permeabilidade	Valor de c	Ksat (mm h ⁻¹)
Rápida	1	≥ 150
Moderada a rápida	2	50 - 150
Moderada	3	15 - 50
Lenta a moderada	4	5 - 15
Lenta	5	1 - 5
Muito lenta	6	< 1

Fonte: AKPA,(2020).

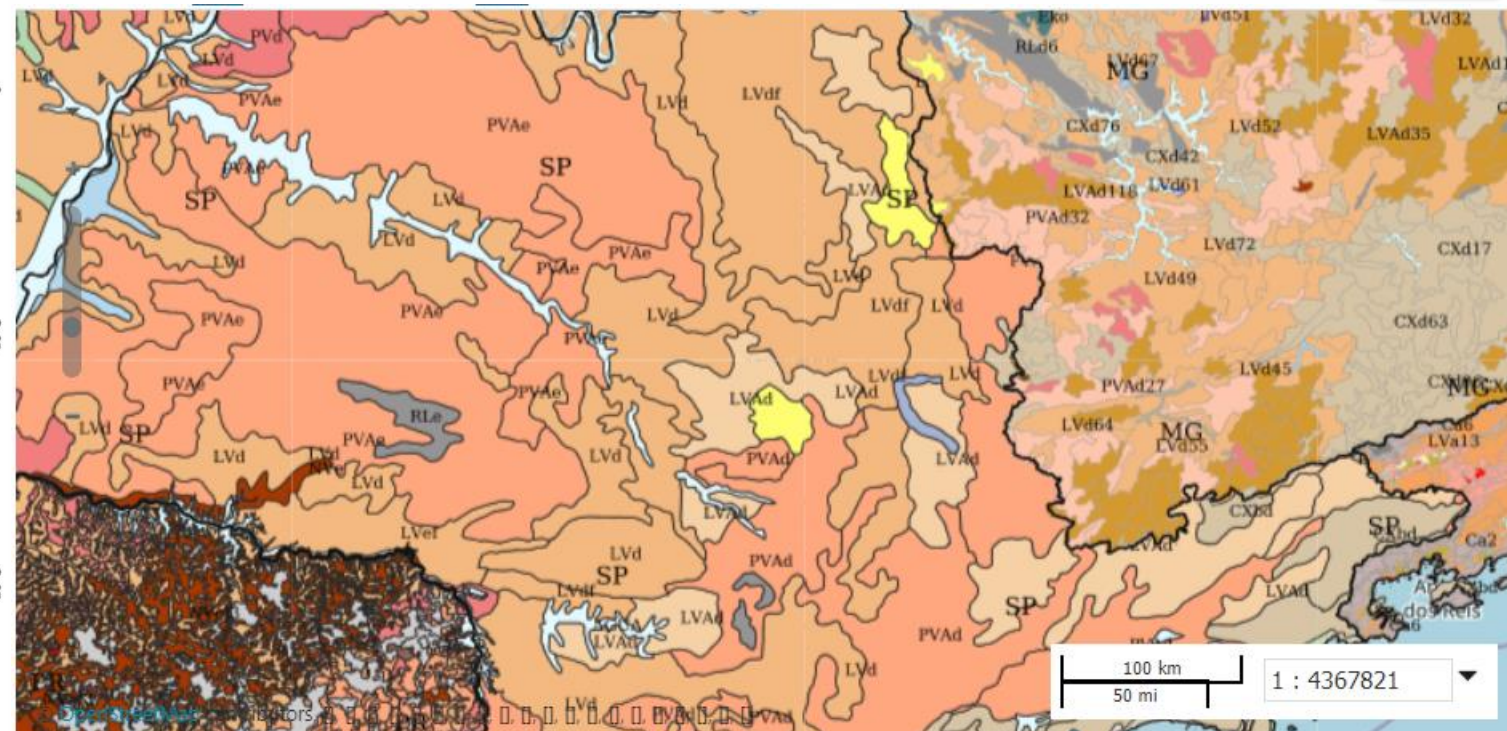
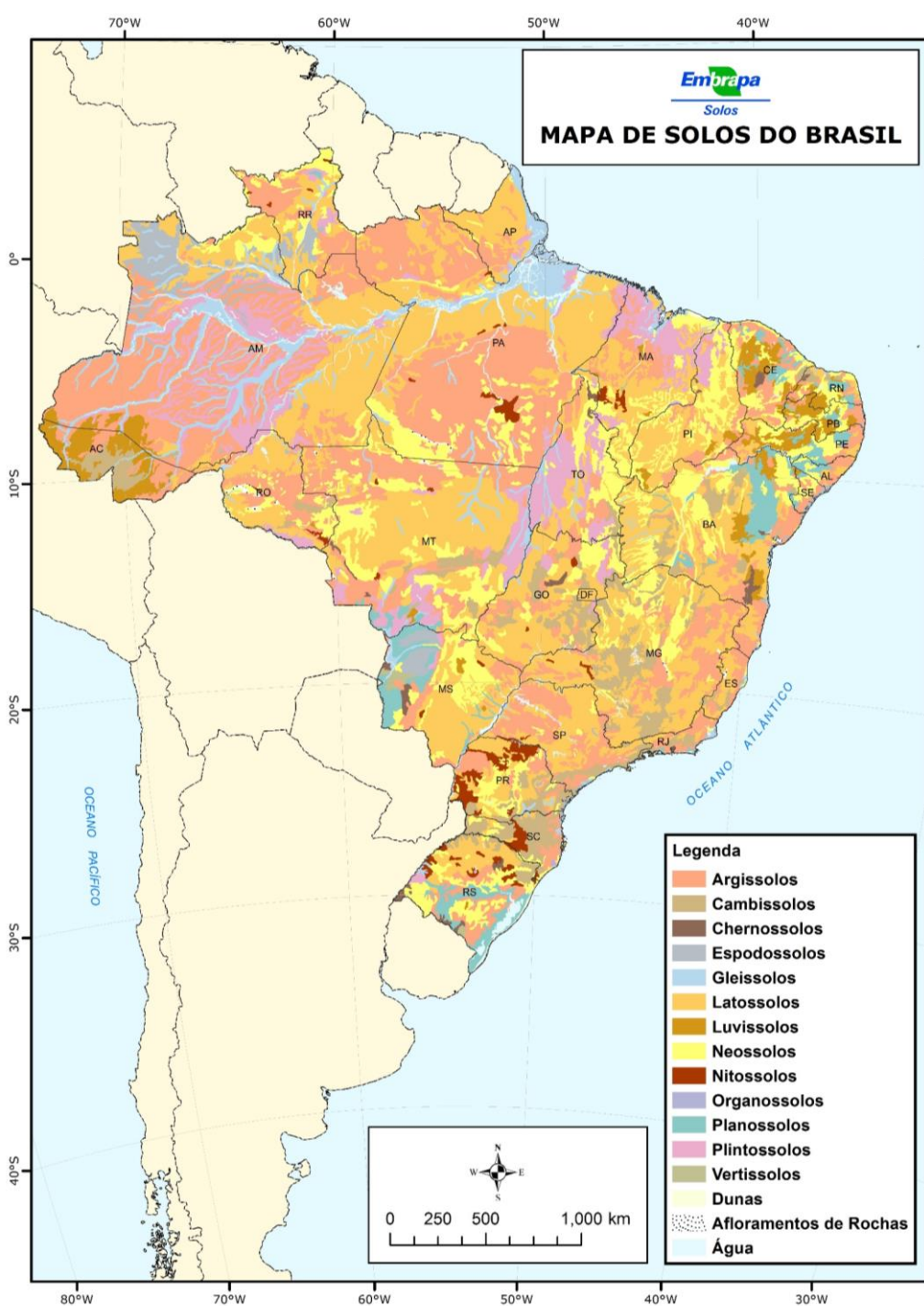
Características Físico-Hídricas de Solo Brasil

K_R – condutividade hidráulica saturada (mm mês⁻¹)
 DG – densidade aparente (g cm⁻³)
 Z_R – profundidade da zona radicular (cm)
 θ_{SAT} – umidade de saturação (cm³ cm⁻³)
 θ_{CC} – umidade na capacidade de campo (cm³ cm⁻³)
 θ_{PMP} – umidade no ponto de murcha permanente (cm³ cm⁻³)
 $\theta_{porosidade}$ - porosidade

TIPO DE SOLO ¹	SOIL TAXONOMY USDA ²	K _R	DG	Z _R	θ _{SAT}	θ _{CC}	θ _{POROSIDADE}	θ _{PMP}
ARGISSOLOS, T. MÉDIA-ARGILOSA	Ultisol	153.16	1.54	150.39	0.46	0.26	0.40	0.19
ARGISSOLOS, T. MÉDIA		352.39	1.51	147.50	0.47	0.22	0.41	0.14
CAMBISSOLOS, T. ARGILOSA	Inceptisols	267.69	1.18	132.52	0.54	0.37	0.53	0.22
CAMBISSOLOS, T. MÉDIA		235.71	1.31	137.45	0.55	0.29	0.49	0.18
ESPODOSSOLOS, T. ARENOSA	Spodosols	253.91	1.41	131.25	0.47	0.22	0.45	0.08
GLEISSOLOS, T. MÉDIA E ARGILOSA	Entisols (Aqu-alf-and-ent-ept)	89.35	1.54	114.30	0.42	0.31	0.39	0.20
LATOSSOLOS, T. ARGILOSA	Oxisols	237.27	1.25	200.81	0.58	0.36	0.52	0.27
LATOSSOLOS, T. MÉDIA		187.77	1.31	189.77	0.45	0.26	0.53	0.15
NEOSSOLOS PROFUNDOS, T. ARENOSA	Entisols	367.88	1.59	200.00	0.33	0.08	0.37	0.03
NEOSSOLOS RASOS, T. ARENOSA		367.88	1.59	60.00	0.33	0.08	0.37	0.03
NEOSSOLOS, T. MÉDIA E ARGILOSA		153.16*	1.46	120.00	0.43	0.28	0.4	0.22
NITOSSOLOS, T. ARGILOSA	Ultisols, Oxisols (Kandic), Alfisols	164.16	1.38	177.20	0.52	0.38	0.51	0.28
PLANOSSOLOS, T. ARENOSA	Alfisols	367.88*	1.64	148.07	0.38	0.29	0.34	0.17
ORGANOSSOLOS	Histosols	89.35	1.54	50.000	0.42	0.31	0.95	0.20
SOLOS DE MANGUE (GLEISSOLOS E ORGANOSSOLO), T. ARENOSA	Entisols, Histosols	367.88*	1.31	120.00	0.33	0.12	0.45	0.06
AREA URBANA RNEST	-	203.53	1.48	140.82	0.47	0.24	0.42	0.13
AREA URBANA CURITIBA	-	252.48	1.22	166.67	0.56	0.37	0.53	0.24

1 – EMBRAPA (2018)
 2 - <https://www.nrcs.usda.gov/resources/guides-and-instructions/soil-taxonomy>

Solos predominantes no Estado de São Paulo



- PVAe - Argissolos Vermelho-Amarelos Eutroficos
- PVd - Argissolos Vermelhos Distroficos
- LVdf - Latossolos Vermelhos Distroferricos
- LVd - Latossolos Vermelhos Distroficos
- LVAd - Latossolos Vermelho-Amarelos Distroficos
- CXbd - Cambissolos Haplicos Tb Distroficos
- RLe - Neossolos Litolicos Eutroficos
- RQo - Neossolos Quartzarenicos Orticos
- NVe - Nitossolos Vermelhos Eutroficos

ARGISSOLO VERMELHO Distrófico - PV

Solos de cor vermelha, com argila de atividade alta e caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B

- Distrófico: saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B
- Eutrófico: saturação por bases $\geq 50\%$ e teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 180 g kg^{-1} a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ de solo, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B



EMBRAPA (2018)

ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico - PVA

Solos de cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas, com argila de atividade alta e caráter alumínico na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B

- Distrófico: saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B
- Solos com saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B



GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico - GX

Solos com argila de atividade baixa e saturação de bases < 50%, ambos na maior parte dos horizontes B e/ou C, até 100 cm de profundidade



CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico - CX

Solos com argila da atividade baixa e saturação por bases < 50%, ambas na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.



ESPODOSSOLO FERRILÚVICO Órtico - ES

Solos com presença de horizonte espódico identificado com os sufixos Bs e/ou Bsm, principalmente, de modo isolado ou sobrepostos a outros tipos de horizontes



LATOSSOLO VERMELHO Distrófico - LV

Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B



LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico - LVA

Solos com saturação por bases < 50% na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B



ORGANOSSOLO MÉSICO Hêmico - OY

solos pouco evoluídos, constituídos por material orgânico de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição



NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico - RL

Solos com saturação por bases $\geq 50\%$ na maior parte dos horizontes dentro de 50 cm a partir da sua superfície.



NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico - RQ

solos sem contato lítico ou lítico fragmentário dentro de 50 cm, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm.

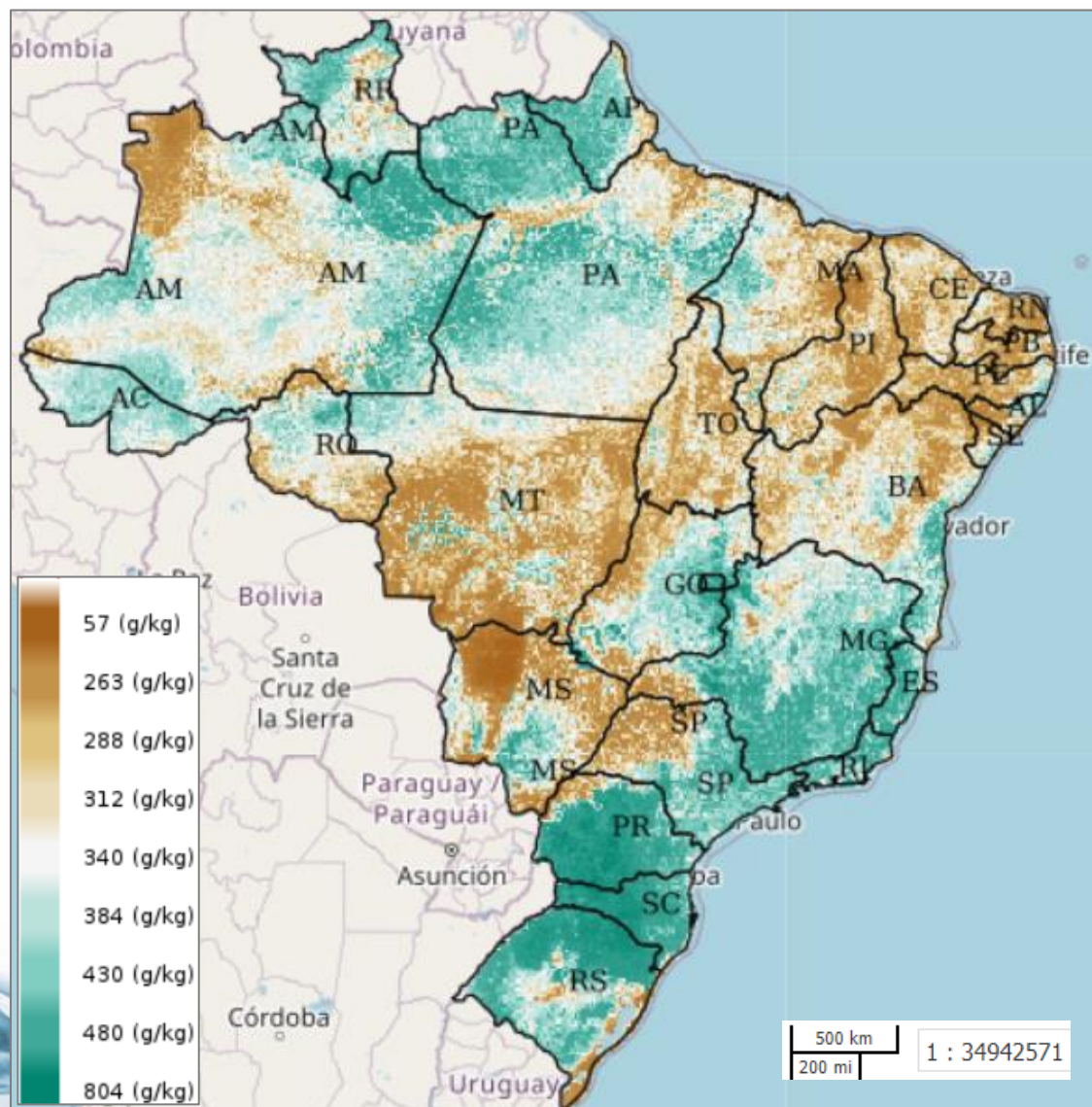


NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico - NV

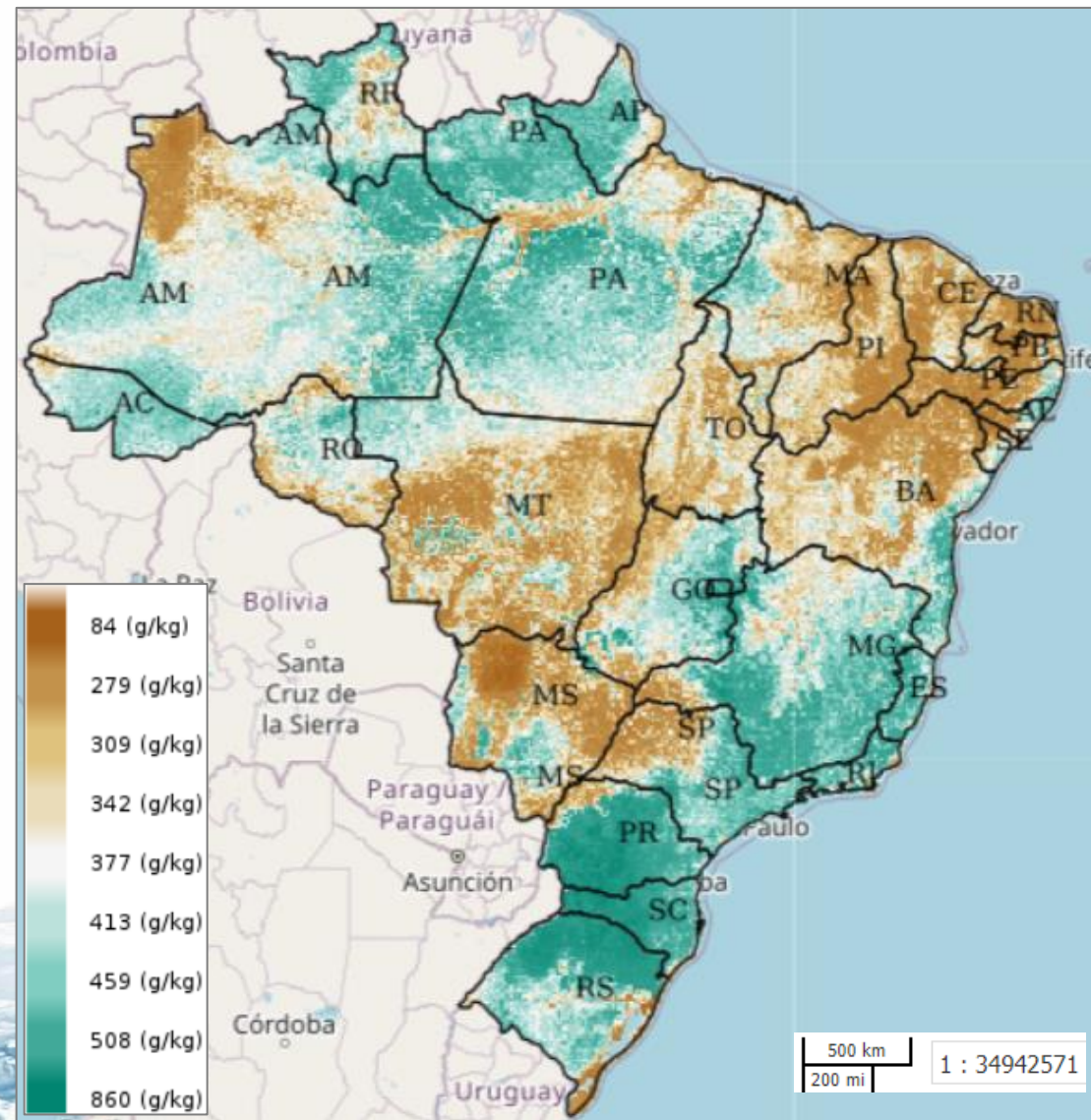
Solos com saturação por bases $\geq 50\%$ e teores de Fe_2O_3 (pelo H_2SO_4) de 150 g kg^{-1} a $< 360 \text{ g kg}^{-1}$ de solo, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B



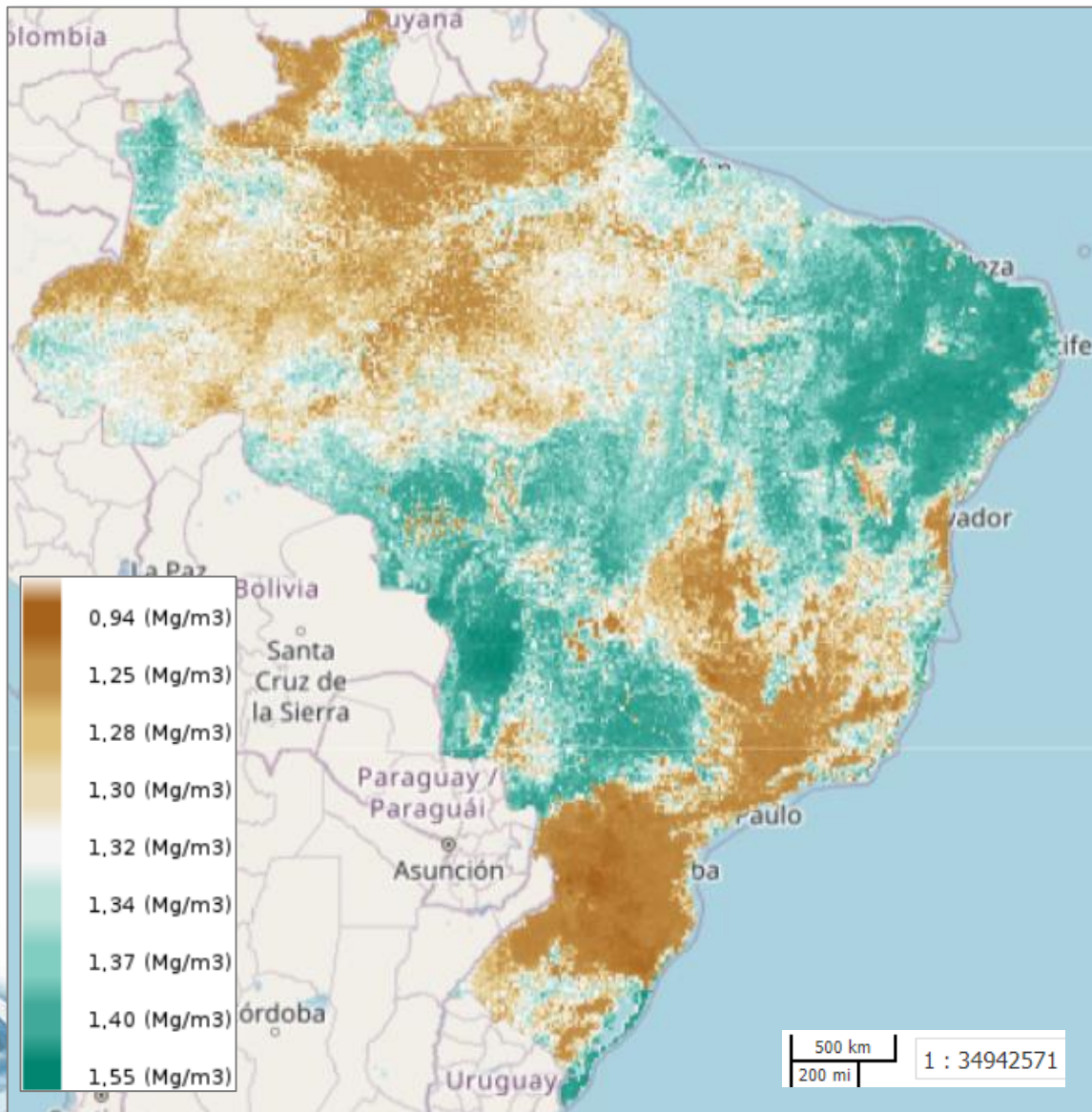
Teor de argila no solo (g/kg) a 30 – 60 cm
na resolução espacial de 90 m



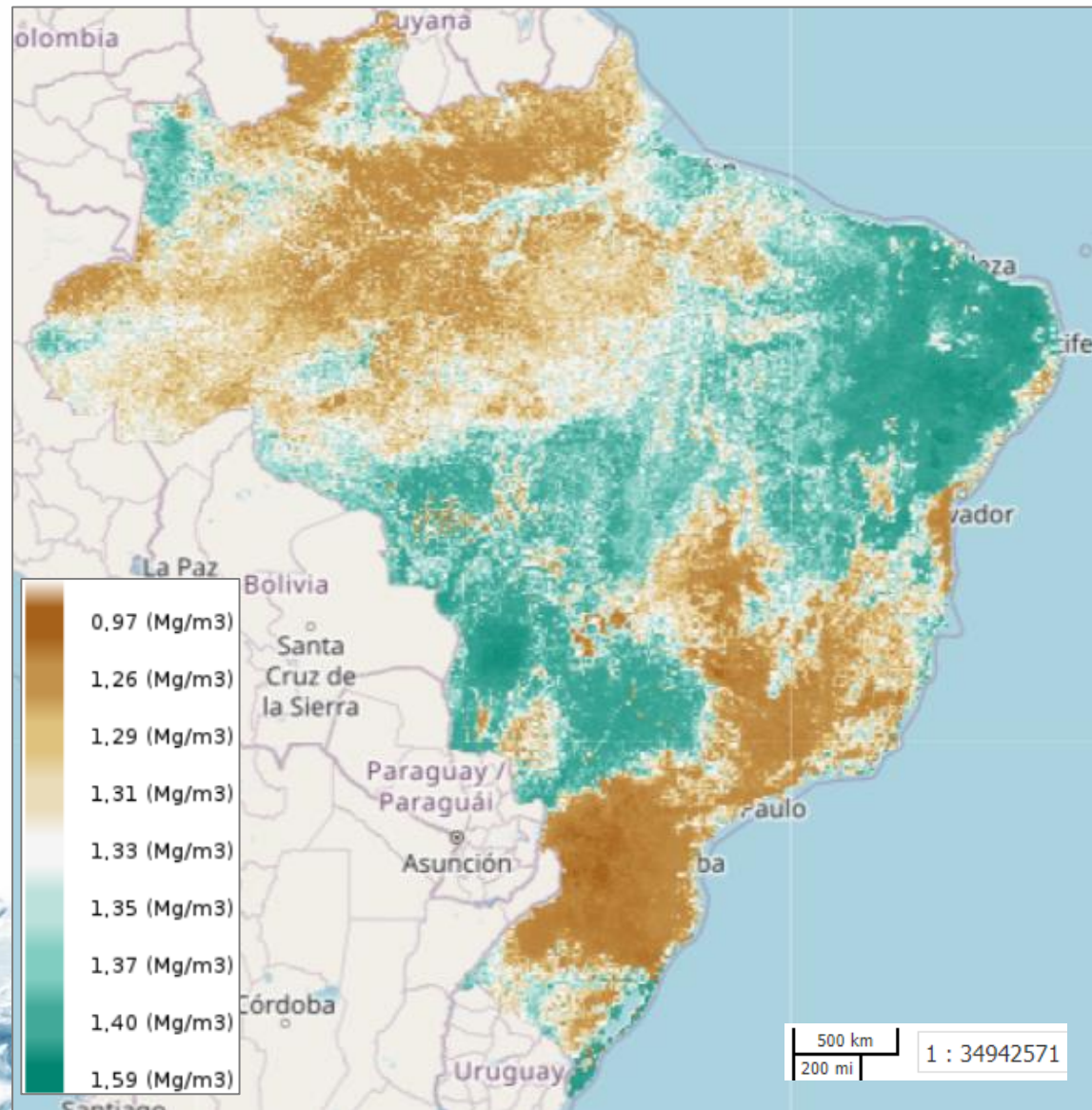
Teor de argila no solo (g/kg) a 60 – 100 cm na
resolução espacial de 90 m



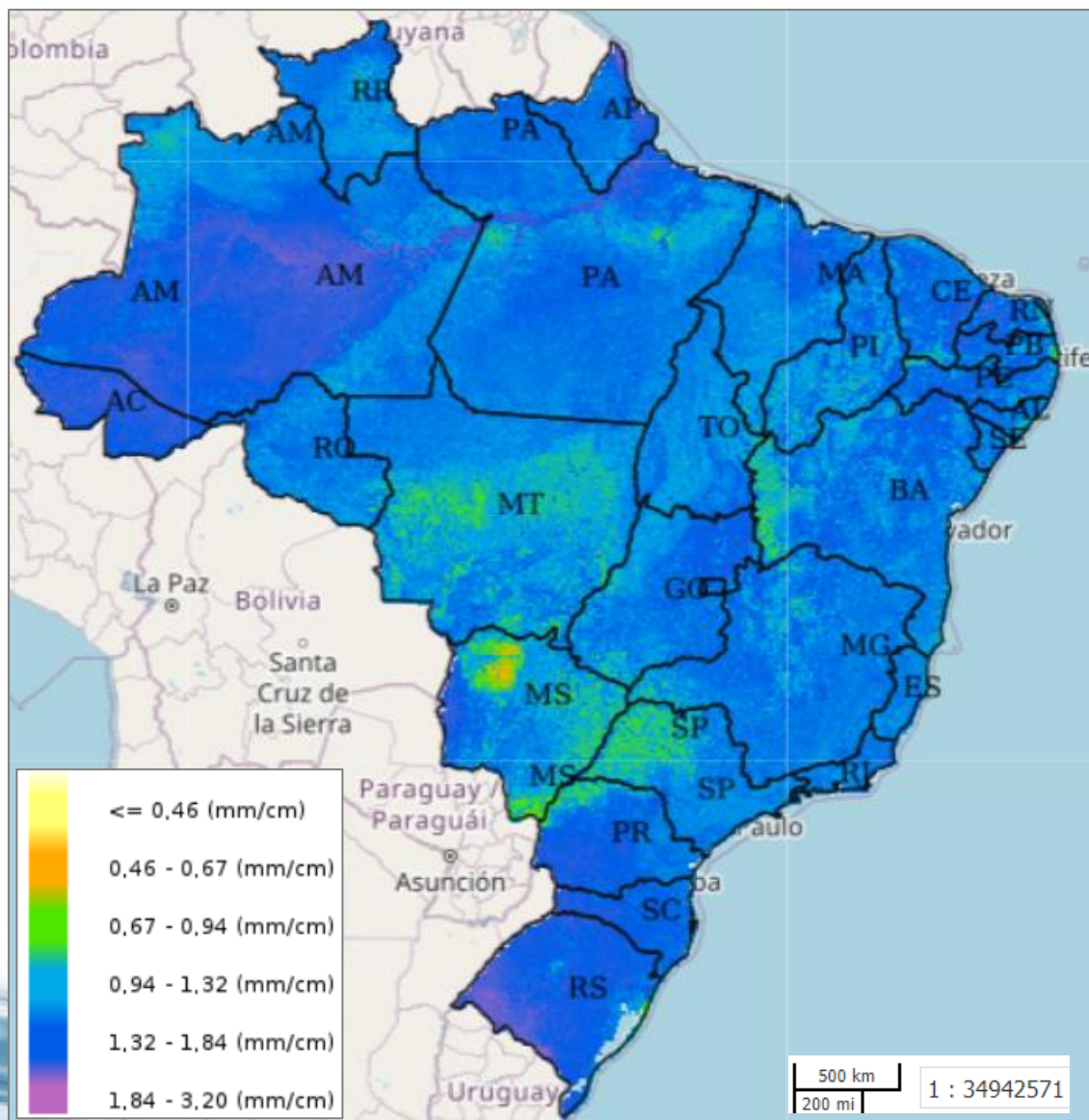
Densidade aparente do solo (g/kg) a 30 – 60 cm na
resolução espacial de 90 m



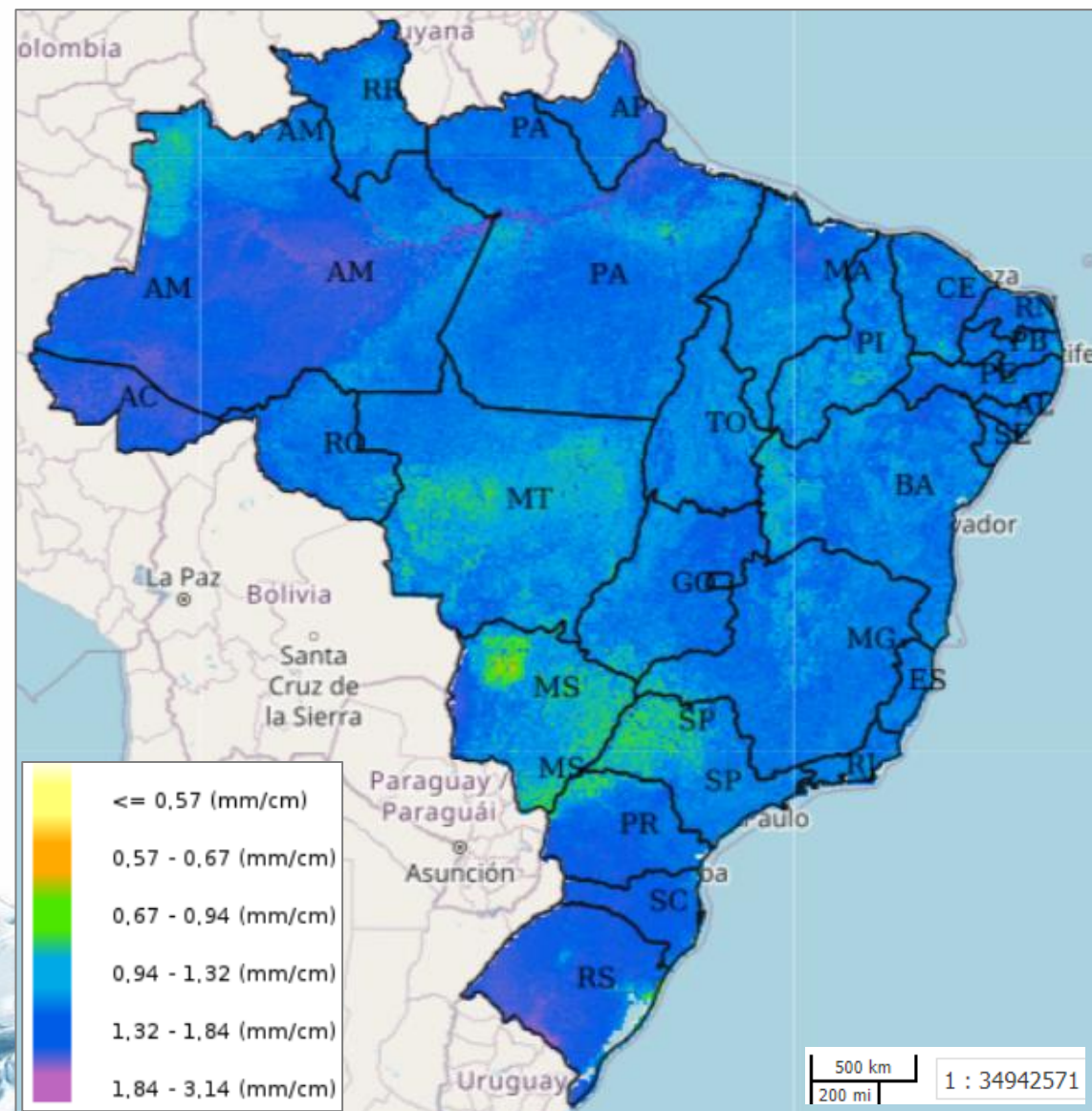
Densidade aparente do solo (g/kg) a 60 – 100 cm na
resolução espacial de 90 m



Água disponível no solo (mm/cm) a 30 – 60 cm na resolução espacial de 90 m

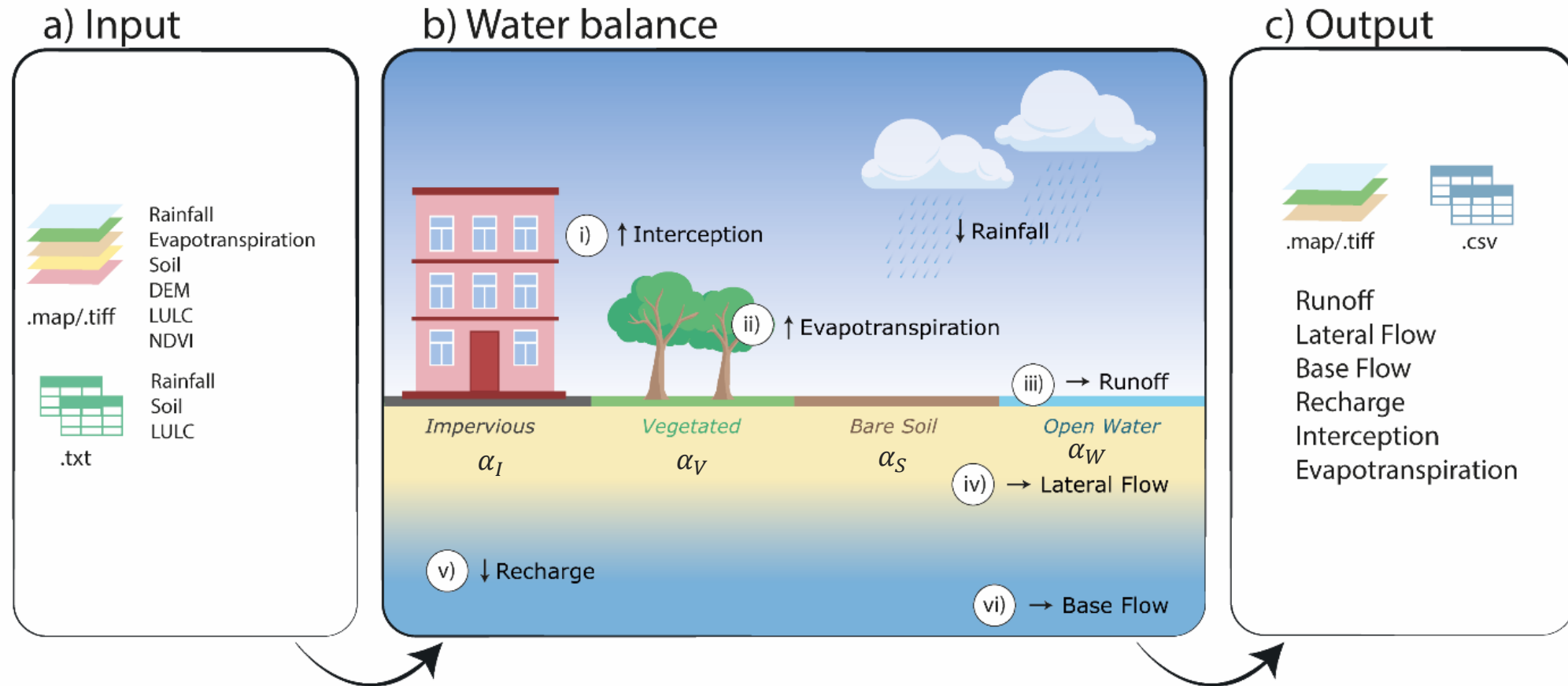


Água disponível no solo (mm/cm) a 60 – 100 cm na resolução espacial de 90 m



Modelagem da balanço hídrico no solo

Méllo Júnior et al. (2022)



$$TU_R = TU_{R-1} + P_E - SR - LF - REC - (ET_{REAL})$$

$$TU_S = TU_{S-1} + REC - EB$$

$$SE \alpha_W = 1 \text{ então } TU_R = TU_S$$

$$P_E = P_m - I$$

TU_R - root zone moisture content (mm);

$TU_{R,t-1}$ - root zone moisture content at the previous time step (mm);

P_E - effective precipitation (mm);

SR - surface runoff (mm);

LF - lateral flow (mm);

REC - groundwater recharge (mm);

ET_{REAL} - total real evapotranspiration (mm);

P_m - total monthly precipitation (mm);

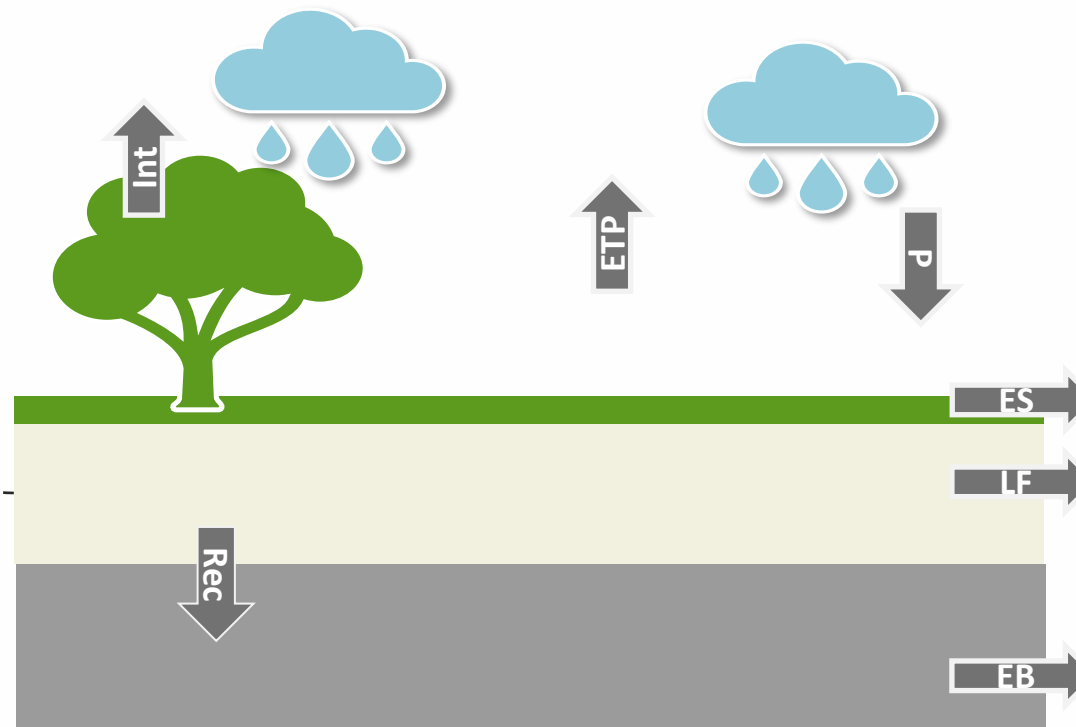
I - total interception (mm);

TU_S - saturated zone moisture content (mm);

$TU_{S,t-1}$ - saturated zone moisture content at the previous time step (mm);

BF - base flow (mm);

α_W - fraction of water area



$$REC = (1 - f) \cdot K_R \cdot \left(\frac{TU_R}{TU_{SAT}} \right)^2$$

REC - recharge (mm);

f - vertical and horizontal flow partitioning coefficient [parameter to be calibrated] (-);

K_R - root zone hydraulic conductivity coefficient (mm month⁻¹);

TU_R - root zone moisture content (mm);

TU_{SAT} - root zone moisture content at saturation (mm)

Legenda

Valor calculado

Valor calibrado

Valor de entrada



Referências

- Embrapa. Sistema brasileiro de classificação do solo. 5a Edição. Embrapa Solos. Brasília, DF, 2018.
- Molina Júnior, W.F. Características físicas do solo. In: Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017. Cap. 3. doi 10.11606/9788592238407
- Akpa, E.; Okon-Inyang, P.; Otu, M.; Afu, S.; Michael, O. Application of erodibility nomograph in the assessment of soil erosion in two different agro-ecological zones. Authorea Preprints, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.22541/au.159863260.00269721>>
- Lal, R. Encyclopedia of soil Science. Third Edition. CCR Press, Boca Raton. 2017.
- Lin, B.S.; Chen, C.K.; Thomas, K.; Hsu, C.K.; Ho, H.C. Improvement of the K-Factor of USLE and soil erosion estimation in Shihmen Reservoir Watershed. Sustainability, v. 11, p. 355-371, 2019.
- Mélo Junior, A.V. Olivos, L.M.O., Billerbeck, C., Marcellini, S.S., Vichete, W.D., Pasetti, D. M., Silva, L.M. da Soares, G.A. dos S., J.R.B. Tercini. Rainfall Runoff Balance Enhanced Model Applied to Tropical Hydrology. Water. 2022, 14, 1958. doi.org/10.3390/w14121958