



USO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA A VALIDAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ESTIMADA POR SATÉLITES DE OBSERVAÇÃO ATMOSFÉRICA

BREVEMENTE! ARTIGO CIENTÍFICO

RAIN-EVAP DATABASE

DE AGOSTINHO VILANCULOS

O Artigo é a disponibilização de cerca de 60 milhões de dados de precipitação e evaporação diária, estimados por dois satélites [CPC RFE.2.0, CHIRPS] de observação atmosférica para as Bacias Hidrográficas da Região Austral de África e inclui todos os postos Administrativos de Moçambique.

*** PARTICIPAÇÃO**

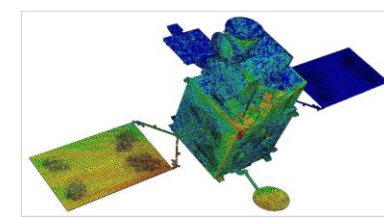
UP > FACULDADE DE CIÊNCIAS DE TERRA
DNGRH > UNIDADE DE CONTROLO DE CHEIAS E SECAS

PÚBLICO ALVO: ESTUDANTES UNIVERSITÁRIOS & INSTITUIÇÕES DE INVESTIGAÇÃO E CONSULTÓRIAS.

+258 82 6333796
+258 85 658 927

Agostinho Vilanculos (PhD, Hidrologia; DGRH)
Prof. Dr. Gustavo Dgedge (UP)
Messias Macie (Geólogo; DNGRH)
Moisés Faduco (Meteorologista; DNGRH)

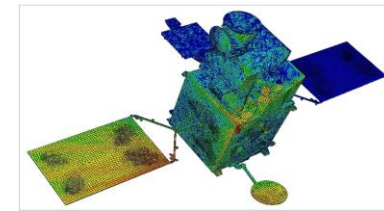
Maputo, Maio de 2025





CONTEÚDO DA APRESENTAÇÃO

1. Contexto
2. Objectivos
3. Área de estudos
4. Dados
 - 4.1 Observados
 - 4.2 Satélites
5. Métodos de análise e validação de dados
6. Conclusões e recomendações

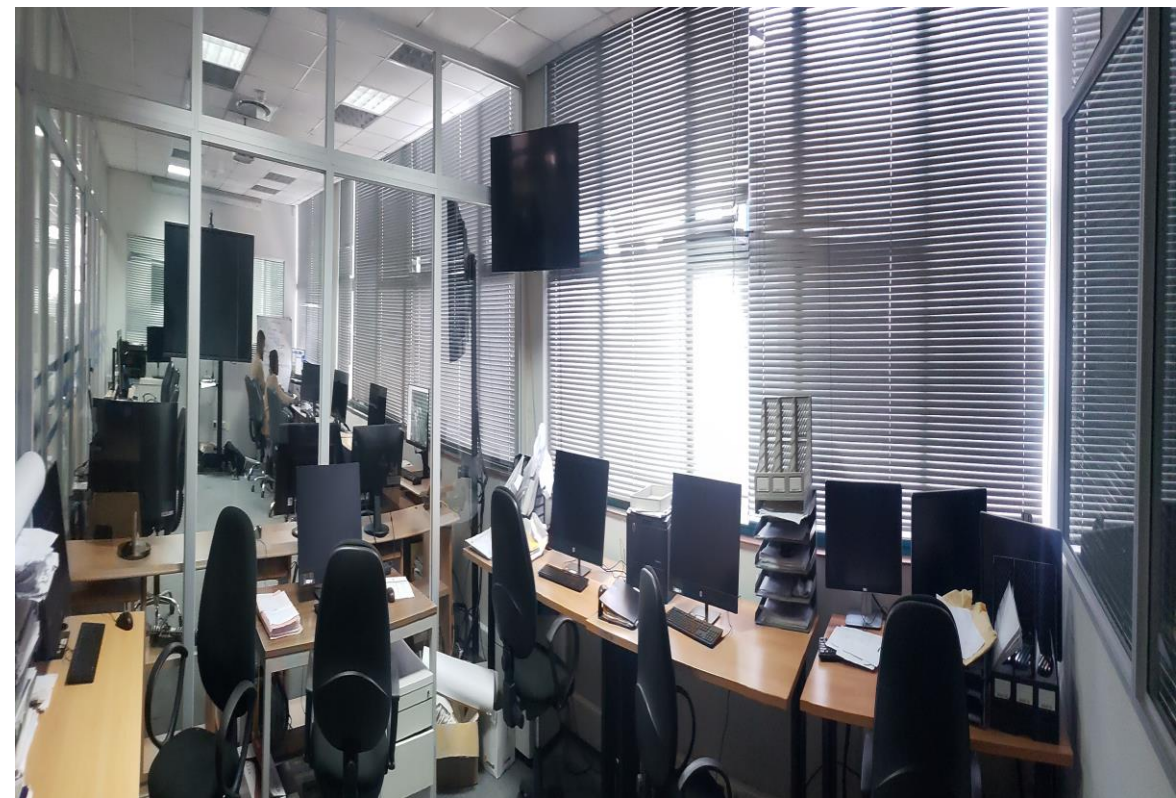




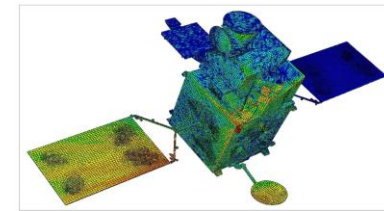
Objectivo

Partilhar experiencias do Uso de precipitação gerada pelos satélites de observação Atmosférica na UCCS da DNGRH:

- Previsão do Longo Prazo;
- Previsão do Curto Prazo.

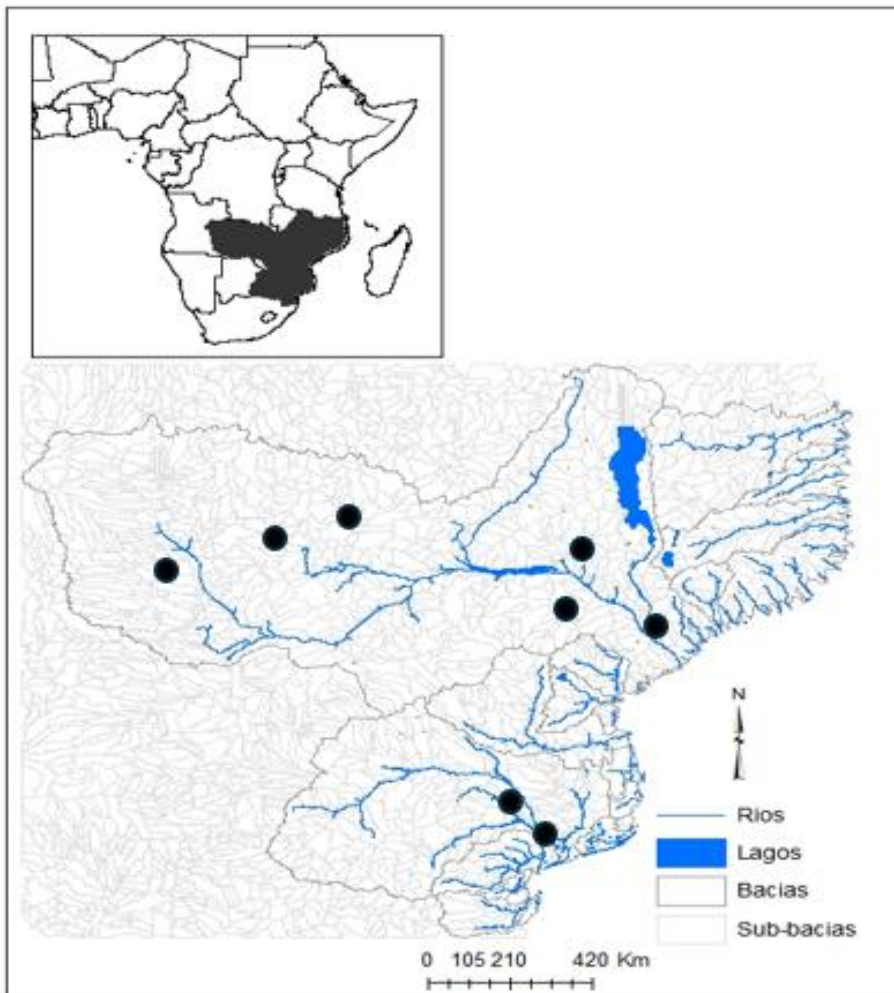


Unidade de Controlo de Cheias e Secas (UCCS)
(DNGRH, 2019)

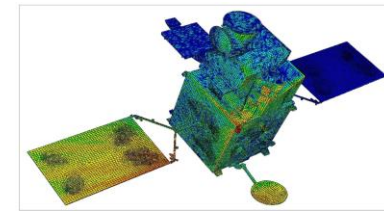




Área de estudo



- Bacias da região da SADC
- 2 577 sub-bacias
- ~ 1 200 km²
- 9 Estações Pluviométricas da Montante e a jusante



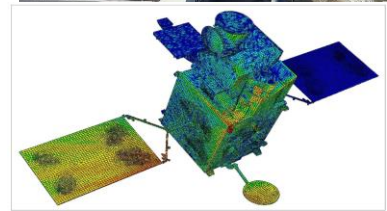
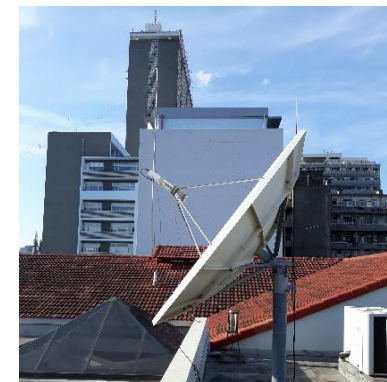
Disponibilidade de dados de Satelites

Productos	Proveedor	Cobertura Espacial	Cobertura temporal	Resoluçã o espacial	Resolução temporal	Referencias
RFE 2.0	NOAA-CPC	40°N - S, 20° W - 55°E	Desde 01.01.2001	0.25°	24h	Xie et al., 2002
CHIRPHS	NOAA-CPC		Desde 1981			
CHIRPS v6	NASA	50°N - S, globally	desde 01.01.1998	0.5°	3h	Kummerow et al., 1998
PERSIANN	University of Arizona	60°N - S, globally	Desde 01.03.2000	0.25°	6h	Sooroshian et al., 2000
PERSIANN-CCS	University of Arizona	50°N - S, globally	desde 01.03.2000	0.04°	0.5h	Sooroshian et al., 2000
CMORPH	NOAA-CPC	60°N - S, globally	Desde 06.12.2002	0.25°	3h	Dinku et al., 2008
CMORPH	NOAA-CPC	60°N - S, globally	1.1.2006 - 31.12.2008	0.077°	0.5h	Joyce et al., 2004

Incertezas nas estimativas da precipitação:

- **Numerical Weather Prediction (NWP)-** são geralmente globais e operam em resoluções espaciais bastante grosseiras;
- **Efeito orográficos;**
- **Efeitos das equações matemáticas usadas que resultam em erros.**

Estação da DNGRH



Disponibilidade de Dados de Evapotranspiração

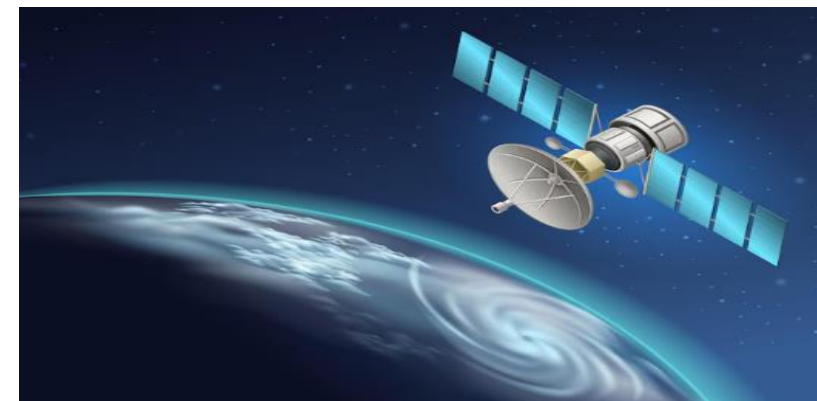
Product	Provider	Input precipitation data	Potential evaporation-method	Spatial resolution	lengths of data	Reference
PCR-GlobWB	PCR-GLOBWB	ERA1 + GPCP	Hargreaves	0.5°	1 Jan 1979-31 Dec 2010	van Beek and Bierkens, 2009
PCR-PM	PCR-GLOBWB	ERA1 + GPCP	Penman-Monteith	0.5°	1 Jan 1979-31 Dec 2010	Hargreaves and Allen, 2003
PCR-TRMM	PCR-GLOBWB	CHIRPS v6	Hargreaves	0.5°	Since 1 Jan 1998	Thiemig et al., 2012
PCR-Irrig	PCR-GLOBWB	ERA1 + GPCP	Hargreaves	0.5°	1 Jan 1979-31 Dec 2010	Van Beek , 2011
ERA1	ECMWF	ERA1	No PE Input	0.7°	1 Jan 1979-near-real-time	Dee et al., 2011
ERAL	ECMWF	ERA1+GPCP	No PE Input	0.7°	1 Jan 1979-31 Dec 2010	Balsamo et al., 2012
MOD16	University of Montana	NASA's GMO	Penman-Monteith	1°	Since 1 Jan 2000	Mu et al., 2011, 2007
GLEAM	VU Amsterdam	PERSIANN	Priestley and Taylor	0.25°	Since 1 Jan 1998	Miralles et al., 2011a,b
USGS-PET	USGS	CPC-RFE	Penman-Monteith	1°	Since 1 Jan 1998	Verdin and Klaver, 2002

Incertezas nas estimativas da evapotranspiração:

- Estimativas das variáveis para a resolução da Equação do Penman Monteith (Vilanculos, 2021; USGS, 2008; 2000; Asante et al., 2008)**

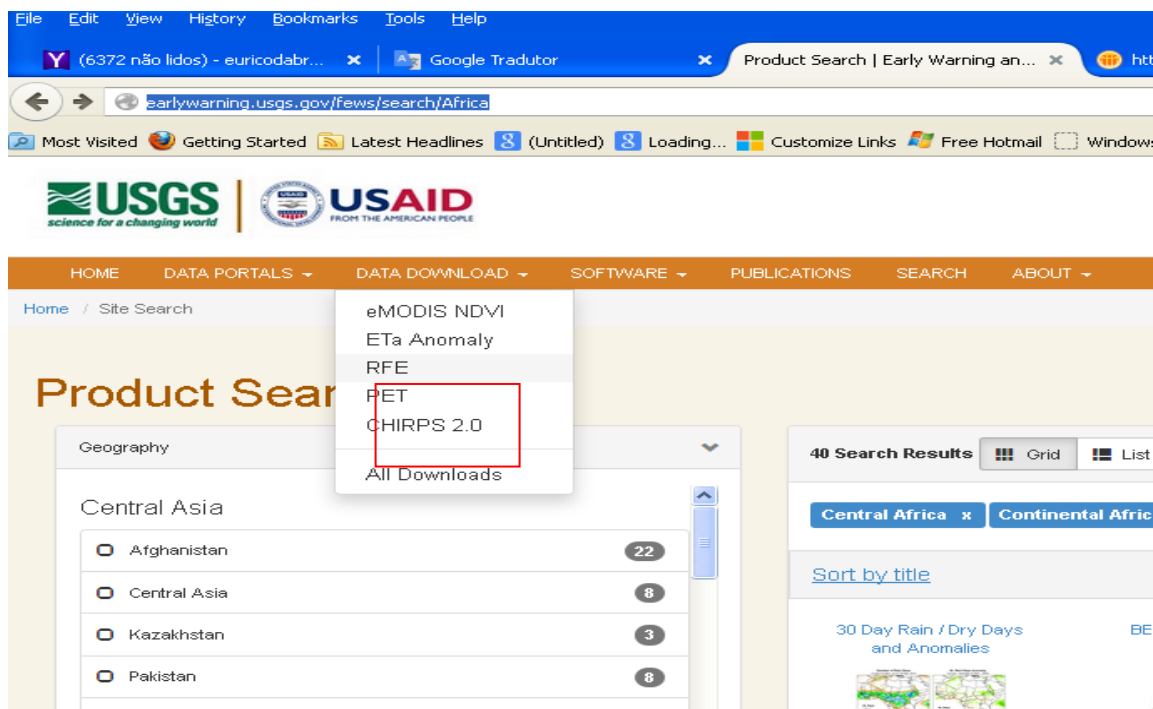
$$PET = \sum_{t=1}^{24} \frac{1}{(\Delta + \gamma(1 + 0.34\mu_2))} * \left[(0.408\Delta(Rn - G)) + \left(\frac{37\gamma\mu_2(e_s - e_a)}{(T + 273)} \right) \right]$$

Onde PET é a evapotranspiração potencial [mm dia⁻¹]; Δ é a inclinação da pressão de vapor de saturação [kPa °C⁻¹]; γ é a constante psicrométrica [kPa °C⁻¹]; μ₂ é a velocidade do vento a 2 m acima da superfície do solo [m s⁻¹]; Rn é a radiação líquida [MJ m⁻² dyr⁻¹]; G é o fluxo de calor do solo [MJ m⁻² dyr⁻¹]; T é a temperatura do ar [°C]; e_s é a pressão de vapor de saturação [kPa °C⁻¹] e e_a é a pressão de vapor real [kPa °C⁻¹].





RFE - Rainfall Estimates Web Site & Dados Observados



<https://earlywarning.usgs.gov/fews/datadownloads/Continental%20Africa/Dekadal%20RFE>

Requisitos:

- Processados através de um software GIS ou GeoSFM
- Os dados devem estar no formato GRID
- Extração final *txt; cvs; dbf; Excel*

Name

info
rain_2000001
rain_2000002
rain_2000003
rain_2000004
rain_2000005
rain_2000006
rain_2000007
rain_2000008
rain_2000009
rain_2000010
rain_2000011
rain_2000012
rain_2000013
rain_2000014
rain_2000015
rain_2000016
rain_2000017
rain_2000018
rain_2000019
rain_2000020
rain_2000021
rain_2000022
rain_2000023
rain_2000024
rain_2000025

Dados Observados



7/2/2015 4:18 PM File folder
7/2/2015 4:18 PM File folder



CHIRPS - Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations

Hey There! Welcome Aboard!!

The Climate Hazards Center (CHC) distributes data products in several ways:

- HTTP - this site
- RSYNC
- FTP

RSYNC

If you wish to mirror any of these products look into using our rsyncd service. See examples below:

```
rsync -av --delete chc-data-out.chc.ucsb.edu::chc-out/products/CHIRPS-2.0/pubs .
```

HTTP

The following links will guide you into our HTTP distribution

- [CHC People collections](#)
- [CHC Products collections](#)
- [CHC Experimental collections](#)

FTP

Please Note

The product directories here are linked in from various sources and will not exactly mirror the online

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
CHIRP/	2016-02-23 07:01	-	-
CHIRPS-1.8/	2020-09-08 09:32	-	-
CHIRPS-2.0+Forecasts/	2020-02-03 16:12	-	-
CHIRPS-2.0/	2021-11-02 16:04	-	-
CHIRPS-3.0/	2021-07-06 08:35	-	-
CHIRPS-GEFS/	2020-09-08 09:32	-	-
CHIRPS-GEFS_precip/	2020-09-08 09:32	-	-
CHIRPS-GEFS_precip_v12/	2022-01-04 17:01	-	-
CHIRPSplus-Ethiopia/	2020-09-08 09:32	-	-
CHIRTSdaily/	2021-12-10 08:57	-	-
CHIRTSmonthly/	2021-11-29 13:38	-	-
CHPclim/	2015-08-28 14:26	-	-
CHTclim/	2018-10-08 09:24	-	-
CORDEX/	2018-01-23 16:21	-	-
CentennialTrends/	2015-05-15 14:05	-	-
EWX/	2013-05-03 10:08	-	-
EWX2/	2022-09-09 16:35	-	-
FEWSNET NASA/	2022-07-19 01:35	-	-

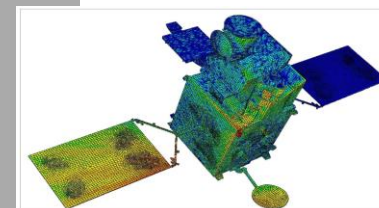
Requisitos:

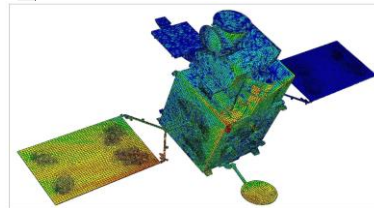
- Processados através do Spyder Python 2.7
- Os dados devem estar no formato TIF
- Extração final *txt; cvs; dbf; Excel*

africa_2-monthly/	2017-10-26 16:48 -
africa_3-monthly/	2017-10-26 16:48 -
africa_6-hourly/	2020-05-01 14:49 -
africa_daily/	2015-11-20 16:15 -
africa_dekad/	2014-11-19 14:37 -
africa_monthly/	2016-02-03 17:13 -

Index of /products/CHIRPS-2.0/africa_daily

Name	Last modified	Size	Description
Parent Directory	-	-	-
bils/	2015-11-20 11:11 -	-	-
old.bils/	2015-02-05 09:03 -	-	-
old.tifs/	2015-02-05 09:04 -	-	-
tifs/	2015-11-20 11:11 -	-	-

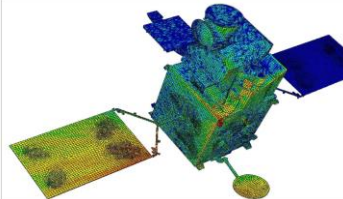


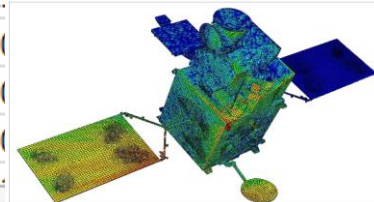




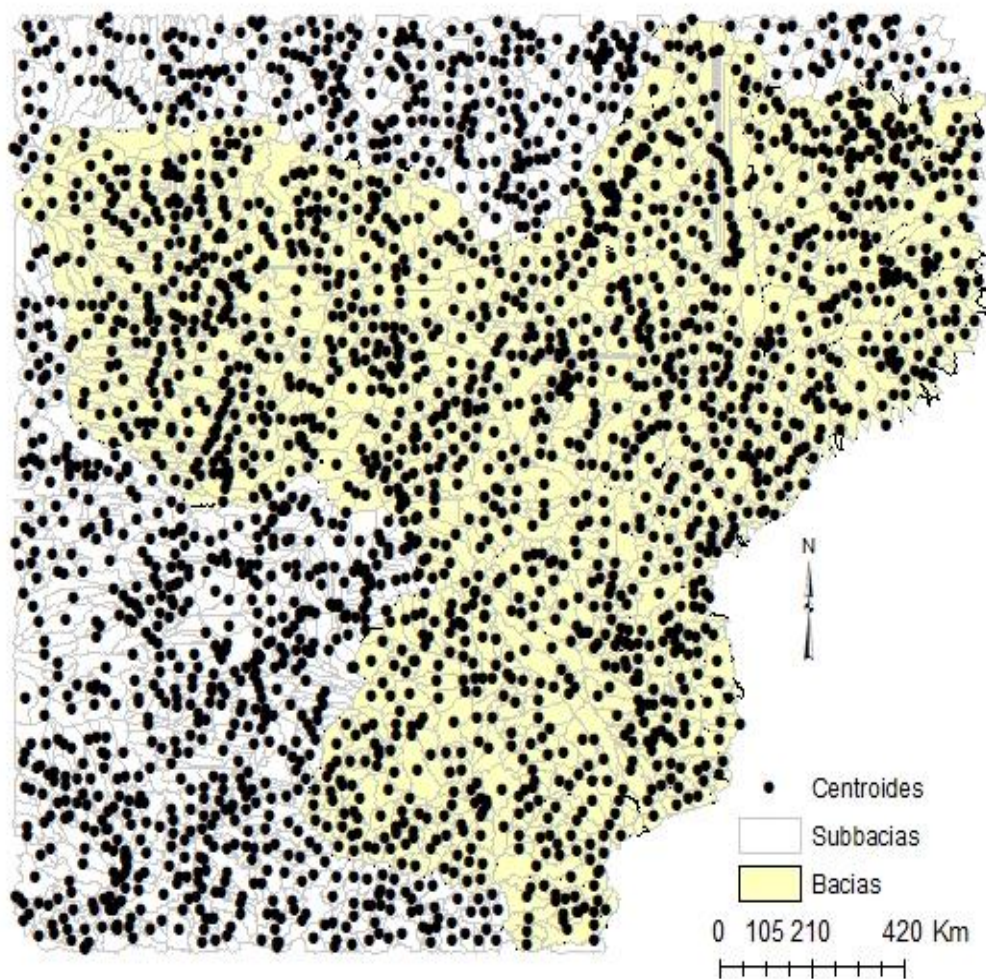
Exemplo de dados extraídos para as Bacias Hidrográficas da África Austral

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
Time	1286	1271	1246	1216	1215	1160	1121	1116	1087	1086	1077	1031	1022	987	958	950	944	939	934	929	933	938	940	980	990	1024	1064	1076	1090	1113	1124	1127	1156	1176	1179	1210
01-01-2001	0	0	4	6	9	5	11	10	9	4	0	1	1	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	4	7	8	9	11	17	17	17	19
02-01-2001	15	24	22	21	22	15	14	13	11	11	9	6	5	5	4	5	4	5	4	4	4	4	4	4	3	2	3	6	6	5	5	4	3	3	3	3
03-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	13	11	13	17	19	29	26	15	17	23	25	21	21	19	18	13	14	15	13	11
04-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	5	8	4
05-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11-01-2001	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	3	5	4	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12-01-2001	12	14	21	18	10	14	11	9	12	11	18	20	20	15	11	10	2	7	4	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-01-2001	37	40	33	34	37	24	21	23	19	19	16	19	22	23	16	14	9	10	9	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14-01-2001	4	4	3	3	3	3	2	2	3	3	4	3	3	5	6	8	3	6	3	4	3	3	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15-01-2001	0	1	0	0	1	4	5	6	9	8	13	14	14	16	15	27	30	20	27	37	38	35	30	27	26	27	24	22	19	17	13	8	8	8	5	4
16-01-2001	15	18	15	16	14	0	7	9	4	2	3	1	2	3	4	8	2	3	3	2	3	4	8	5	6	1	1	3	3	5	4	4	3	3	3	3
17-01-2001	20	7	16	16	11	5	11	7	3	9	7	15	17	18	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	5	7	6	6	5	5	5	2	0
18-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	4	1	1	2	6	13	14	11	7	0	0	0	0
19-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-01-2001	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-01-2001	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-01-2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



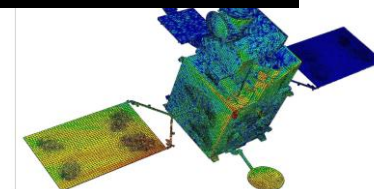


Análise Estatística da Precipitação Estimada e Observada



- $R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$
- *Erro Absoluto* = $\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)$
- *Relative bias* = $\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n \bar{O}}$
- $RRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}}{\bar{O}}$
- $IA = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right]$

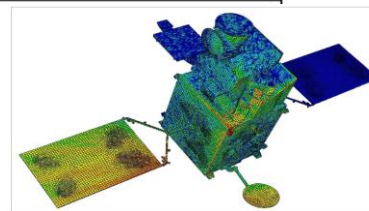
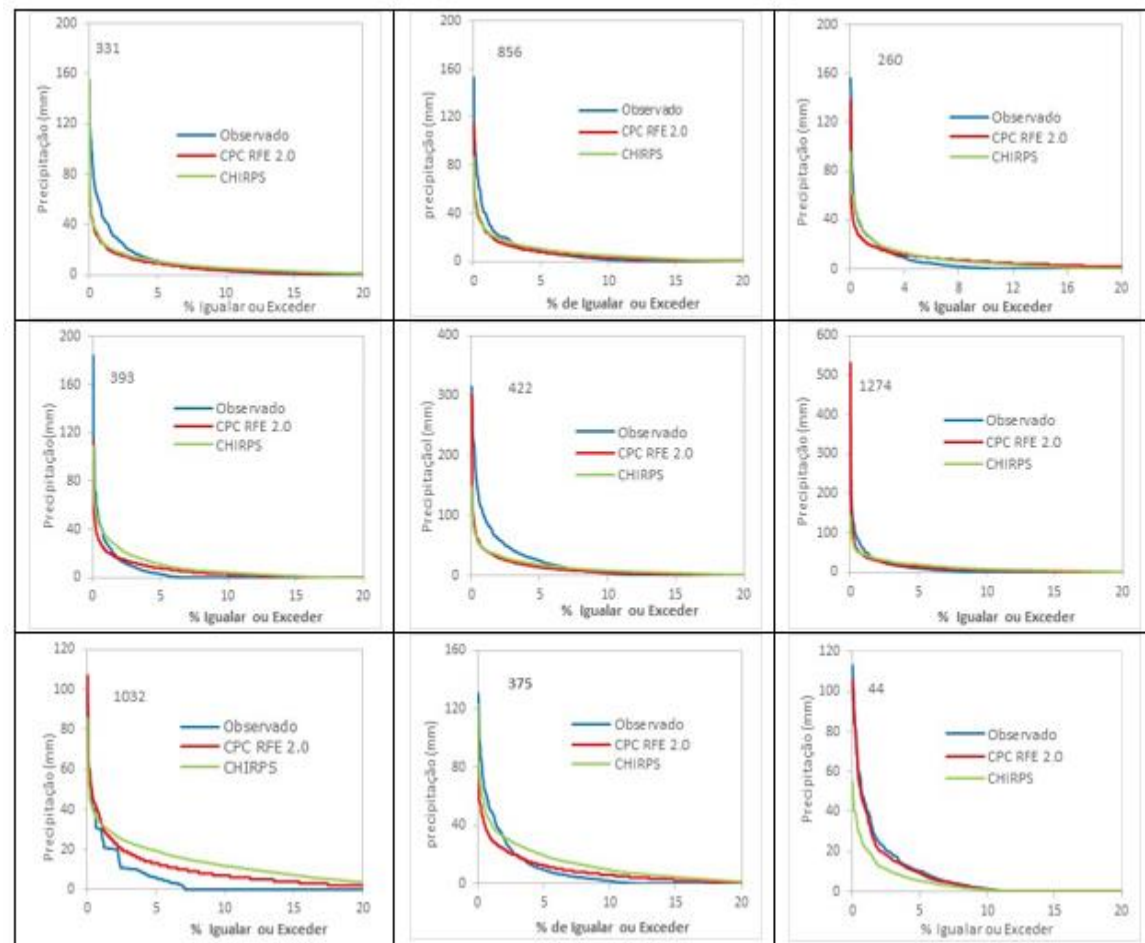
Onde S_i são os dados de satélite, O_i os dados observados e $\bar{O}$ a média dos dados observados.





Validação estatísticas dos dados: Necessidade de correção

Estações	Dados de satélites	Estatística					
		R^2	RRMSE	IA	ME	Rbais	Bias
315	RFE	0.17	5.52	0.77	0.08	0.05	1.05
	CHIRPS	-0.01	5.82	1.03	0.05	0.03	1.03
331	RFE	0.21	4.19	0.74	-0.61	-0.30	0.70
	CHIRPS	-0.01	4.75	1.01	-0.32	-0.16	0.84
856	RFE	0.26	5.07	0.64	-0.18	-0.12	0.88
	CHIRPS	0.00	5.79	0.99	0.07	0.05	1.05
260	RFE	0.23	5.20	0.67	0.43	0.34	1.34
	CHIRPS	0.00	6.31	1.02	0.43	0.34	1.34
393	RFE	0.26	6.49	0.63	0.19	0.21	1.21
	CHIRPS	-0.01	8.61	1.03	0.72	0.81	1.81
1112	RFE	0.89	2.05	0.06	-0.02	-0.01	0.99
	CHIRPS	-0.01	6.70	1.02	0.77	0.48	1.48
422	RFE	0.24	3.53	0.78	-1.77	-0.43	0.57
	CHIRPS	0.00	3.80	1.02	-1.28	-0.31	0.69
1274	RFE	0.21	3.96	0.83	0.17	0.08	1.08
	CHIRPS	0.10	3.73	0.93	0.62	0.29	1.29



Validação estatísticas dos dados: Necessidade de correção, Cont....

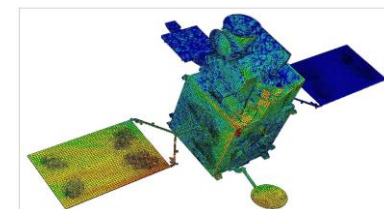
Pressupostos:

$$\frac{\text{Satellite}_{\text{daily}}}{\text{Satellite}_{\text{monthly}}} = \frac{\text{Raingauge}_{\text{daily}}}{\text{Raingauge}_{\text{monthly}}}$$

$$\text{Satellite}_{\text{correction}} = \text{Raingauge}_{\text{daily}} * \left(\frac{\text{Satellite}_{\text{monthly}}}{\text{Raingauge}_{\text{monthly}}} \right)$$

Coefficientes the ajustes ~ 0.8 mm a 1.3 mm

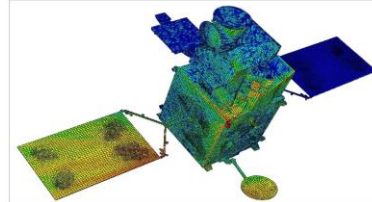
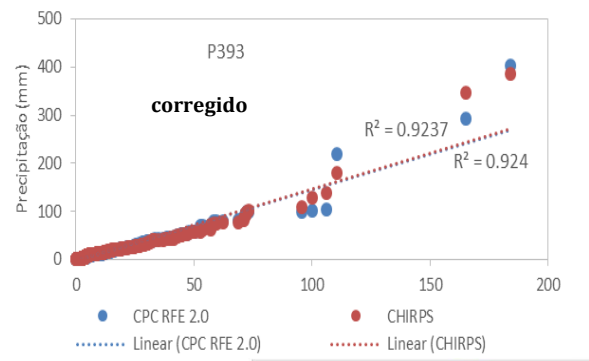
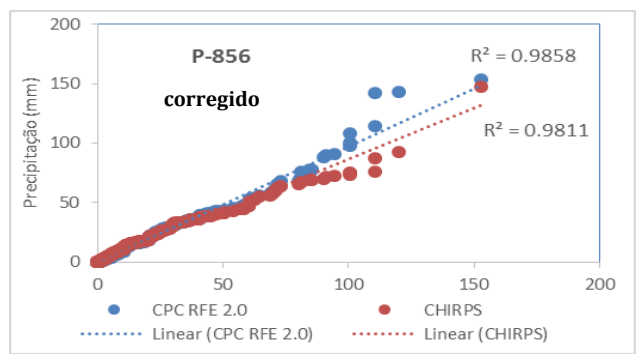
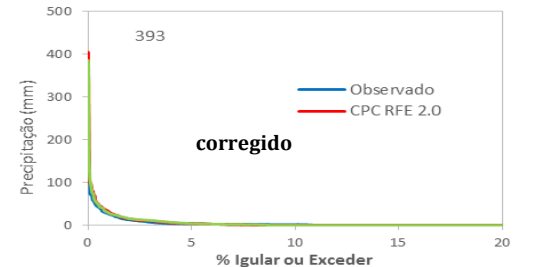
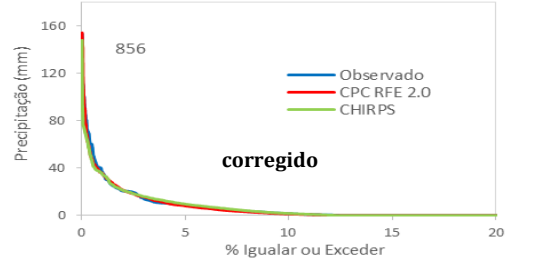
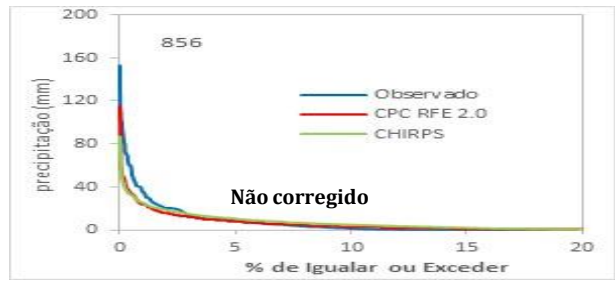
Vilanculos e Hughes (2015) Sawanyama e Hughes (2012)



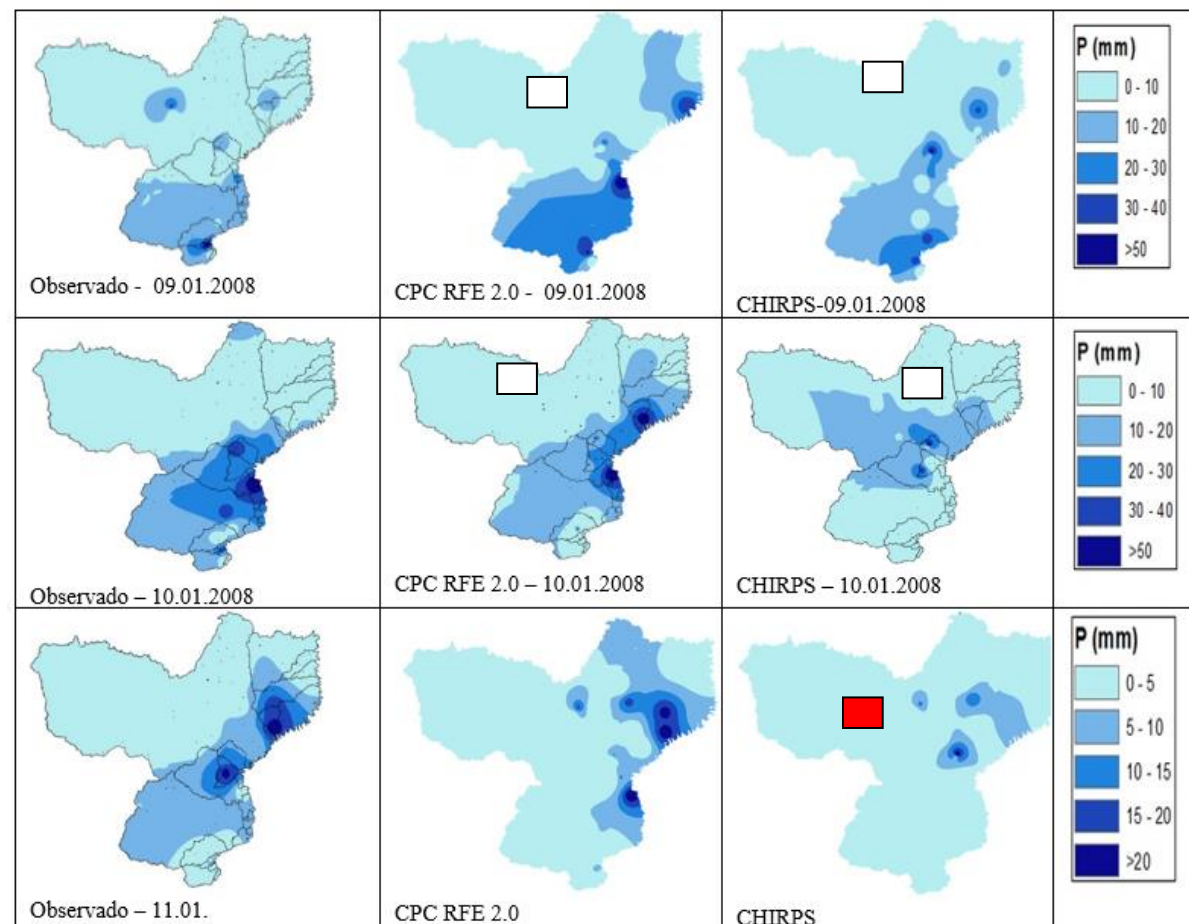
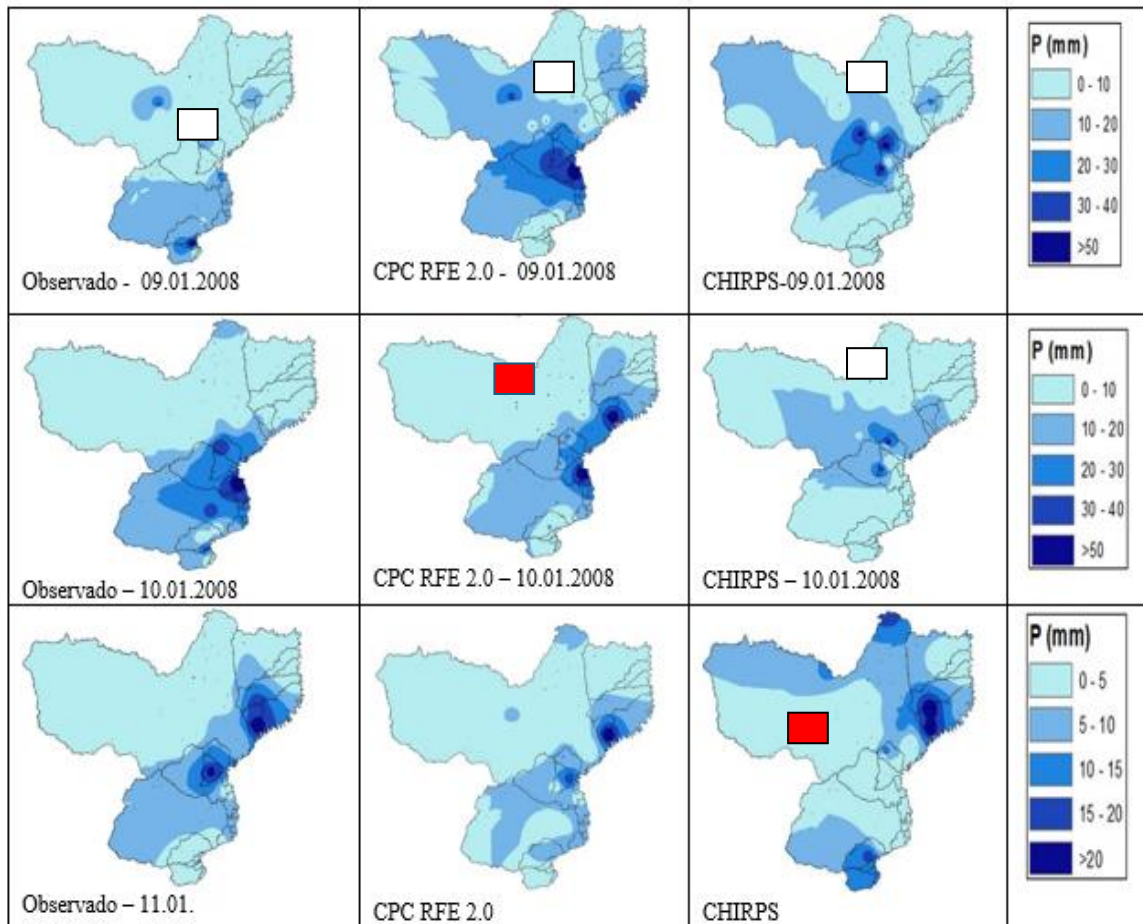


Correção de Precipitação Satélites

Estações	Dados de satélites	Estatística					
		R^2	RRMSE	IA	ME	Rbais	Bias
315	RFE	0.72	2.82	0.18	-0.44	-0.22	0.78
	CHIRPS	0.80	2.47	0.13	-0.26	-0.13	0.87
331	RFE	0.64	4.29	0.23	-0.29	-0.18	0.82
	CHIRPS	0.77	3.28	0.18	-0.48	-0.30	0.70
856	RFE	0.78	3.15	0.13	-0.05	-0.04	0.96
	CHIRPS	0.89	2.21	0.07	-0.03	-0.02	0.98
260	RFE	0.37	9.68	0.58	-0.02	-0.02	0.98
	CHIRPS	0.40	9.59	0.55	0.28	0.22	1.22
393	RFE	0.32	134.92	0.95	3.75	4.19	5.19
	CHIRPS	0.43	45.89	0.82	2.66	2.97	3.97
1112	RFE	0.91	2.44	0.06	0.35	0.21	1.21
	CHIRPS	0.82	3.06	0.11	0.54	0.33	1.33
422	RFE	0.77	2.38	0.24	-1.71	-0.42	0.58
	CHIRPS	0.86	2.25	0.23	-1.84	-0.45	0.55
1274	RFE	0.55	2.82	0.33	-0.18	-0.08	0.92
	CHIRPS	0.64	2.44	0.27	-0.45	-0.21	0.79

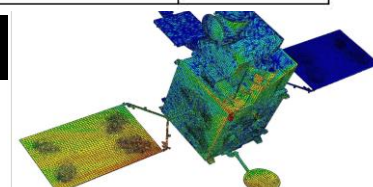


Comparação Espacial Estimados vs corrigidos



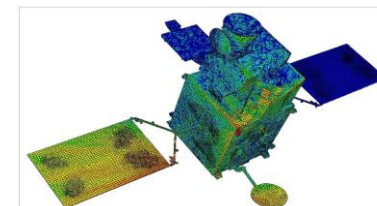
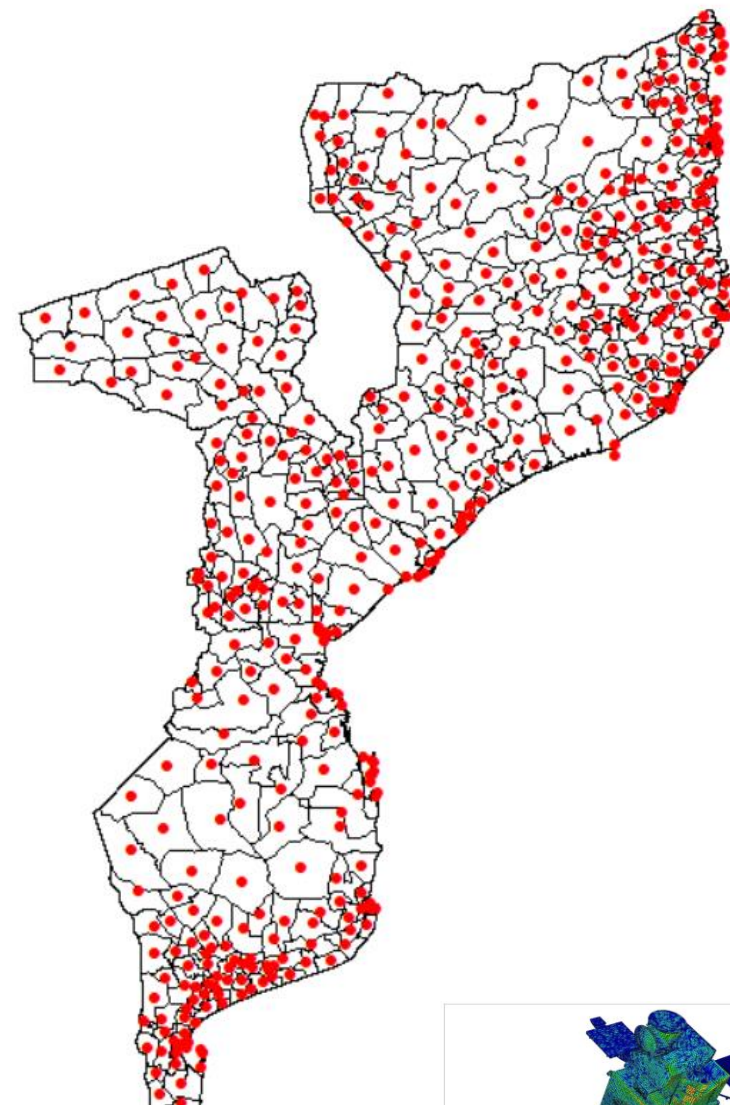
Não corrigidos

Não corrigidos



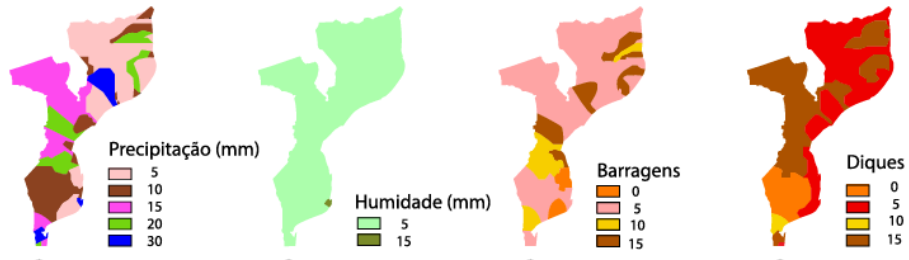
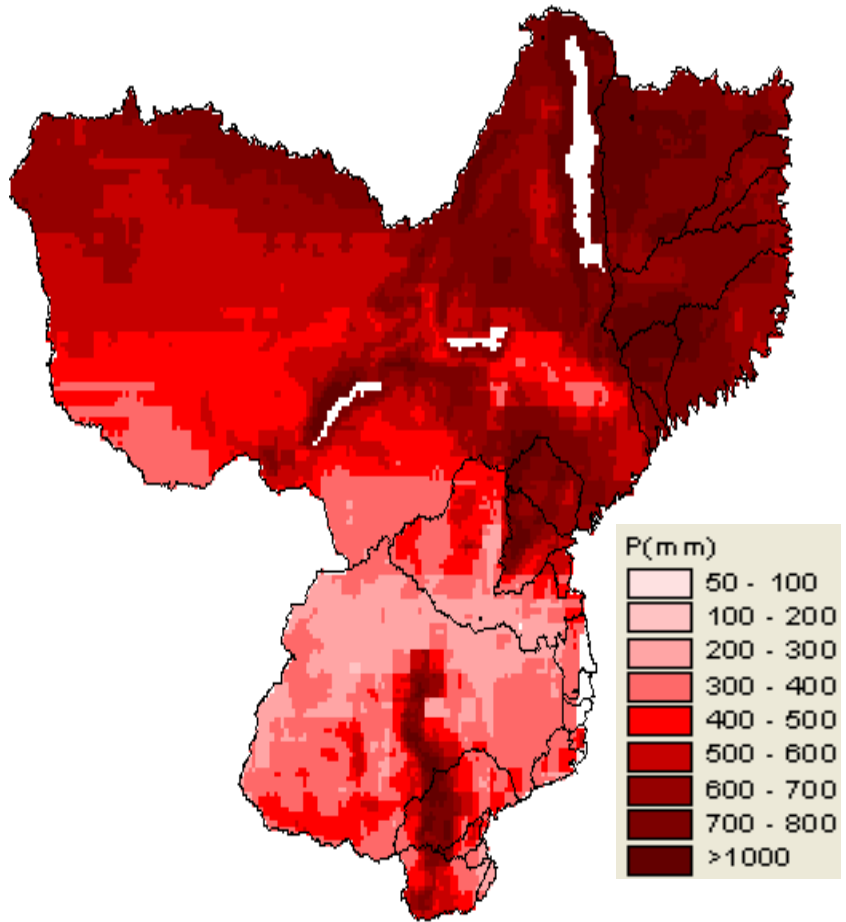
Base de dados de precipitação e Evapotranspiração (*RAIN-EVAP DATABASE*)

ID	Bacia	Area (10 ⁶ km ²)	PMA (mm/ano)	Nr. Sub-Bacias	Nr. Distritos em Mocambique	Nr. Posto Administrativos	Coberura Temporal	Coberura espacial	Formato dos dados
1	Maputo	1669.64	1000	6	1	3	2001-2022	Toda bacia	txt
2	Umbeluzi	7138.202	900	12	8	14	2001-2022	Toda bacia	txt
3	Incomati	14462.907	900	36	8	26	2001-2022	Toda bacia	txt
4	Limpopo	88646.249	800	144	19	53	2001-2022	Toda bacia	txt
5	Inharrime	11500.635		21	9	21	2001-2022	Toda bacia	txt
6	Govuro	14408.826		39	7	11	2001-2022	Toda bacia	txt
7	Save	29306.696		67	9	13	2001-2022	Toda bacia	txt
8	Buzi	25266.406	1200	53	11	26	2001-2022	Toda bacia	txt
9	Pungue	28999.383	1200	57	13	26	2001-2022	Toda bacia	txt
10	Zambeze	172640.82	800	259	35	78	2001-2022	Toda bacia	txt
11	Licungo	25011.09	1800	44	12	25	2001-2022	Toda bacia	txt
12	Ligonha	16926.109		39	9	17	2001-2022	Toda bacia	txt
13	Meluli	9997.542		28	11	23	2001-2022	Toda bacia	txt
14	Melela	9216.41		18	6	9	2001-2022	Toda bacia	txt
15	Mecuburi	9620.185		23	9	18	2001-2022	Toda bacia	txt





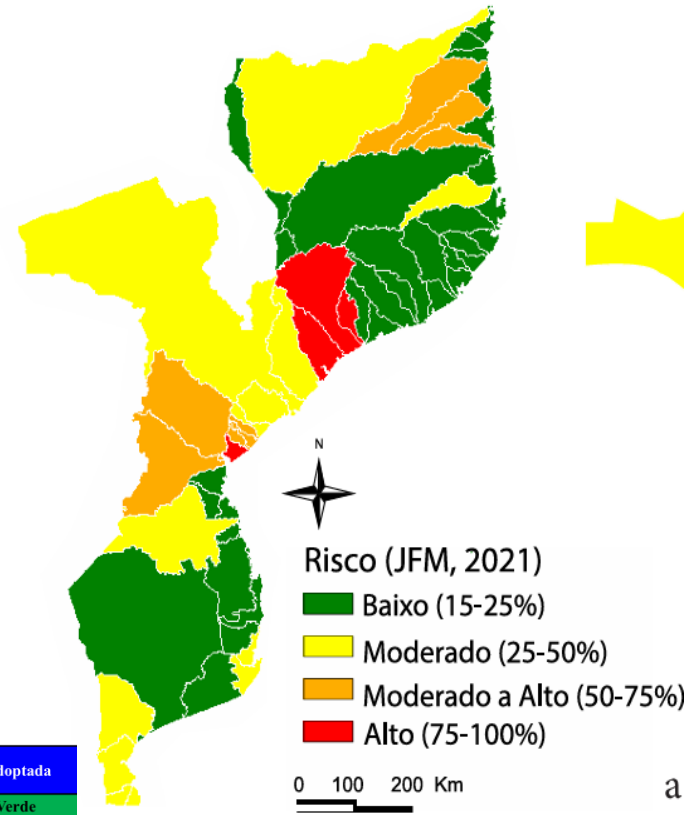
Aplicação da Precipitação e Evaporação estimada corrigida- Previsão Sazonal



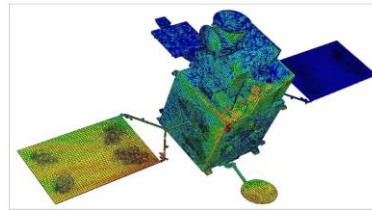
$$\text{Risco} = [\text{Prec.}] + [\text{Solos}] + [\text{Barragens}] + [\text{Diques}]$$

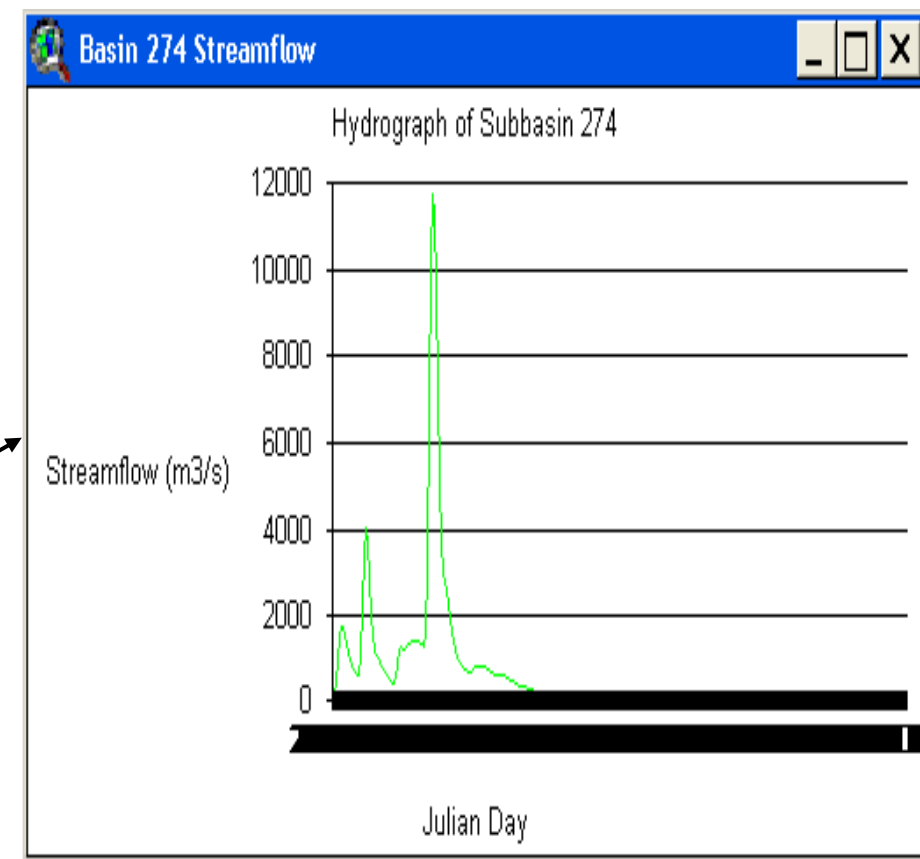
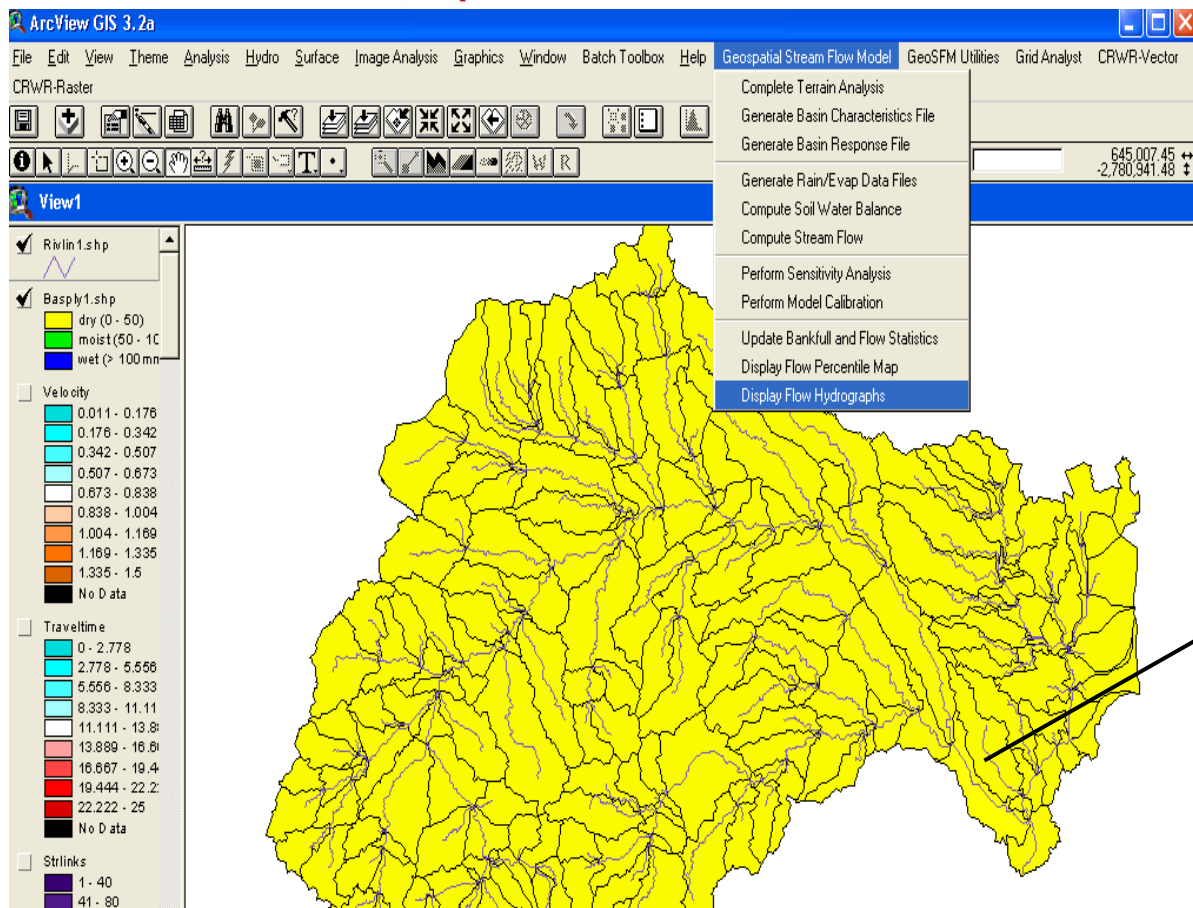
RISCO DE CHEIAS

Classificação	Indicador (%)	Cor Adoptada
Baixo	10-25	Verde
Moderado	25-50	Amarela
Moderado a Alto	50-75	Laranja
Alto	75-100	Vermelho

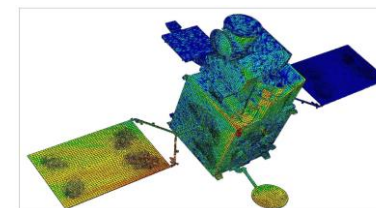


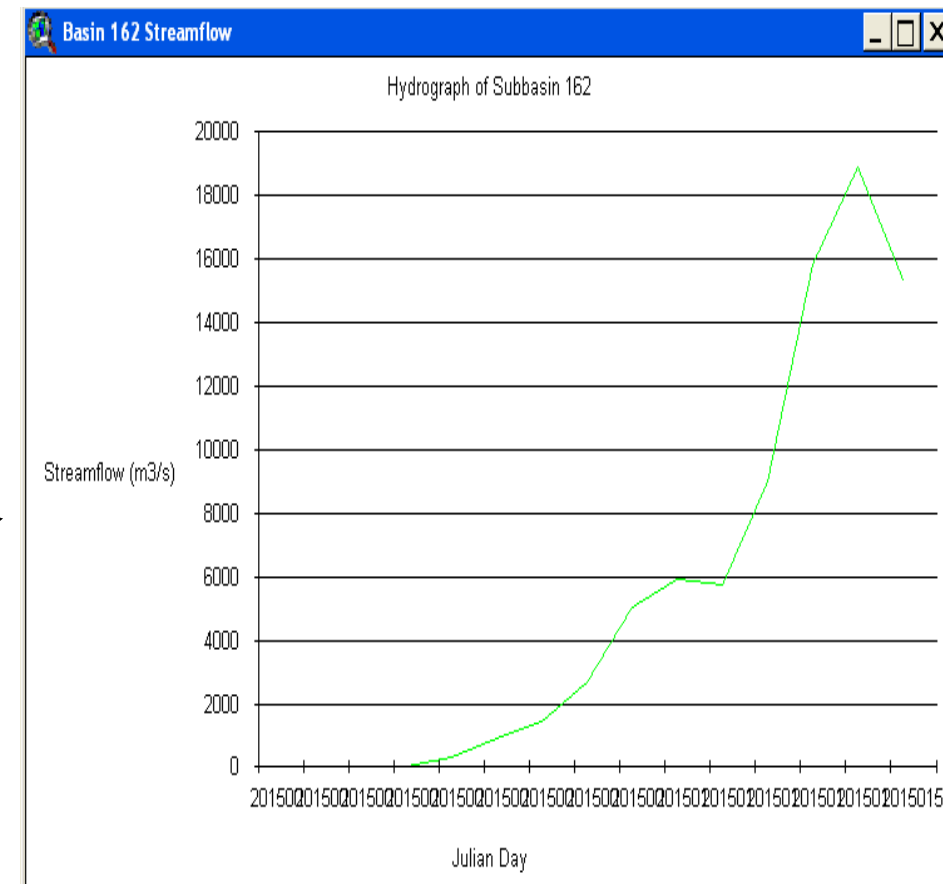
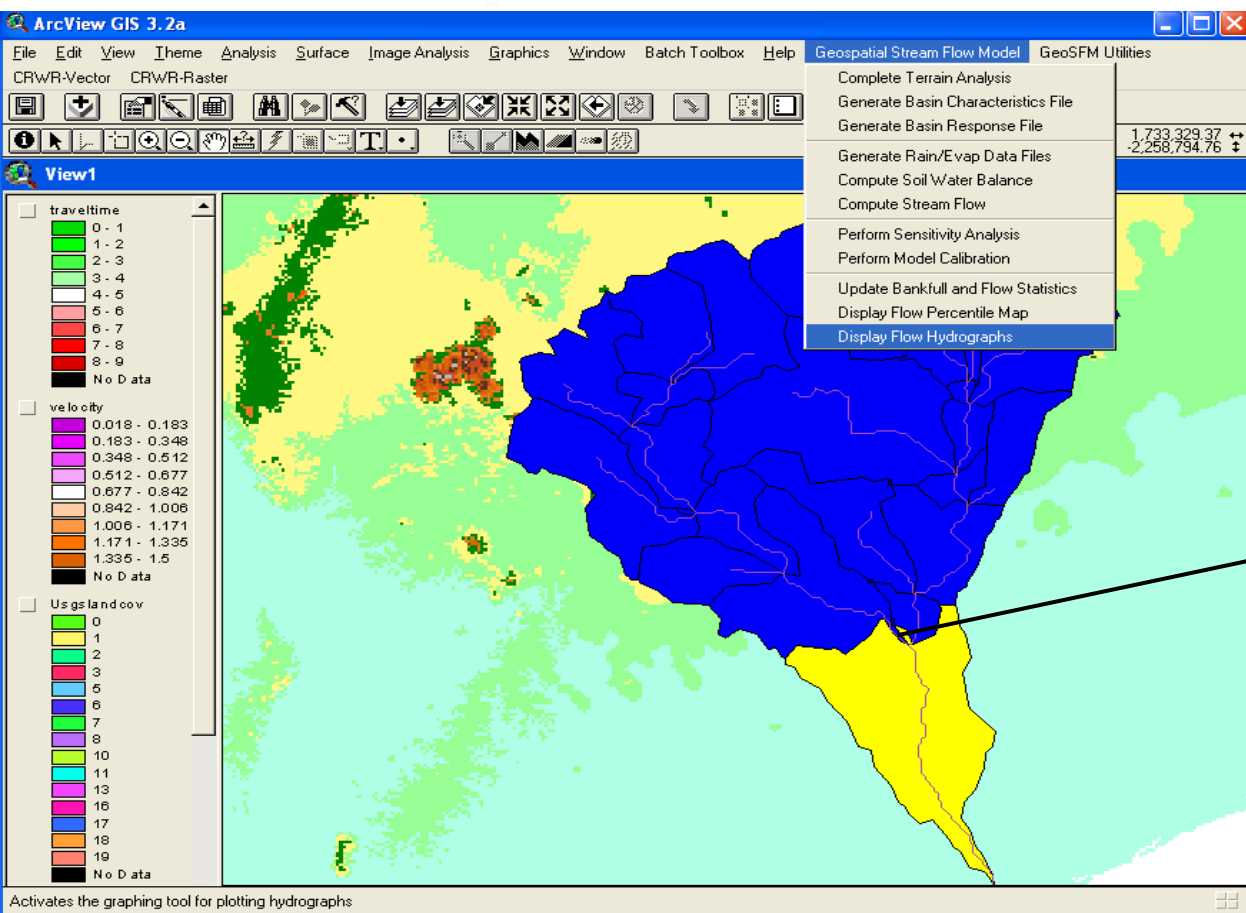
Vilanculos (2021)



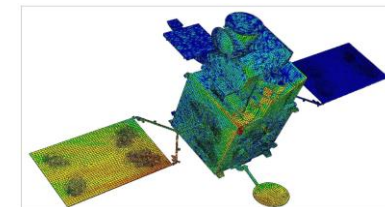


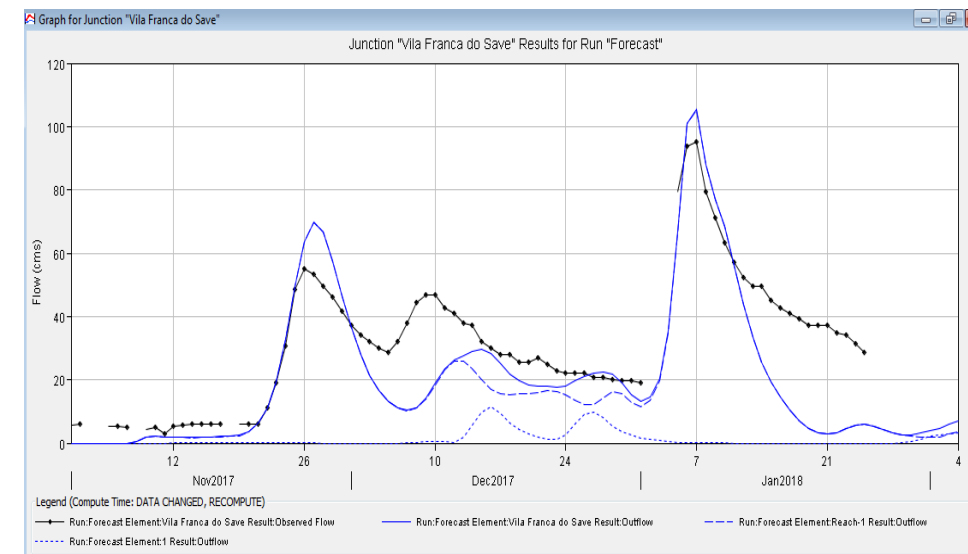
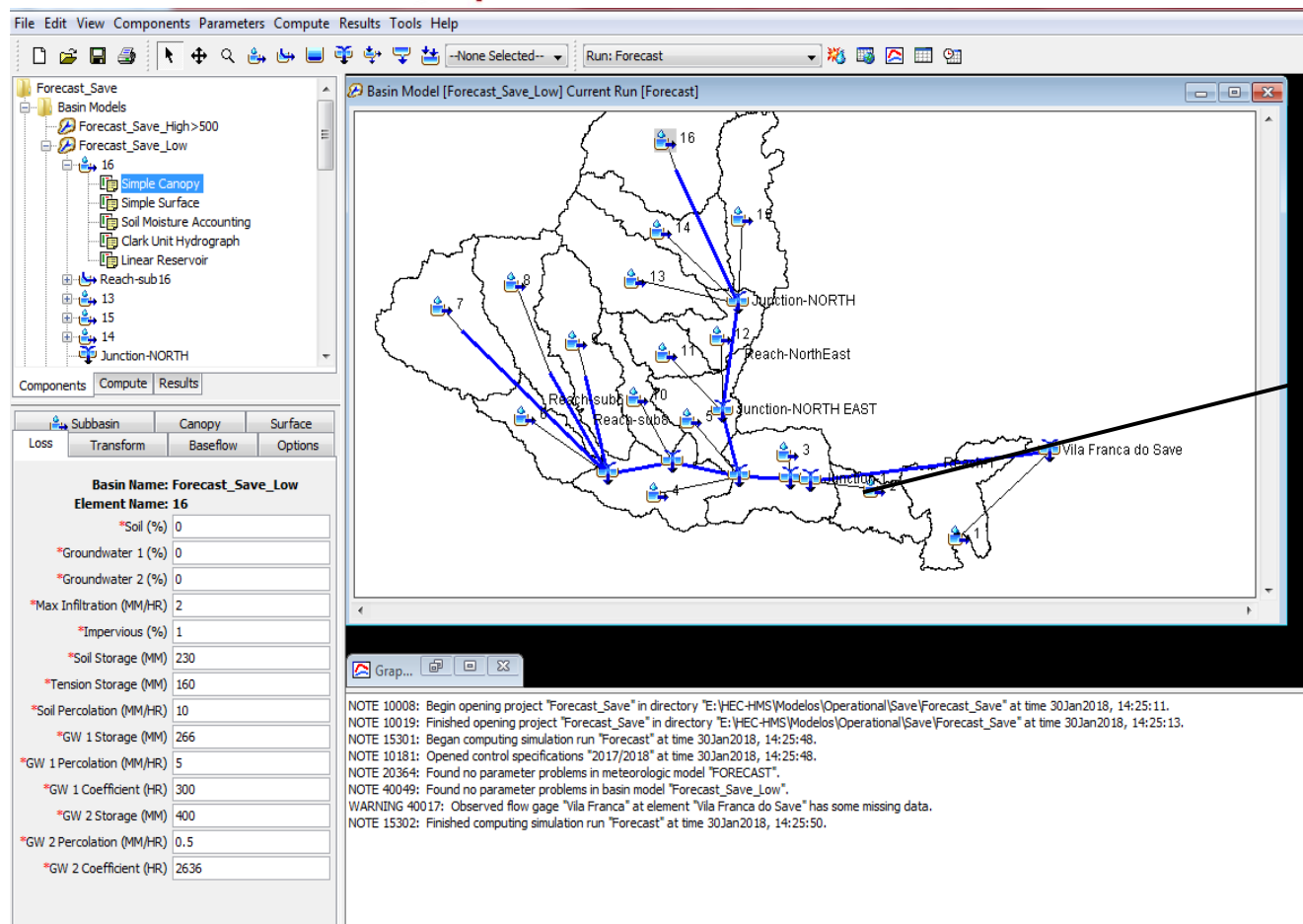
Bacia Hidrográfica do Limpopo



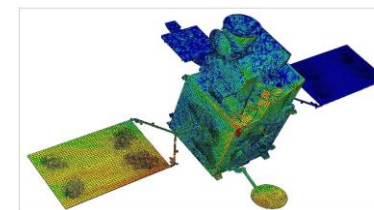


Bacia Hidrográfica do Licungo





Bacia Hidrográfica do Save



Previsão de enchimento das albufeiras. O processo usado para a estimativa de volumes afluentes às albufeiras baseia-se na aplicação do método de coeficiente escoamento superficial que, matematicamente, é dada pela Equação 4.1 e o cálculo de volume através da Equação 4.1.

$$C = \frac{Ve}{Pp} \quad (4.1)$$

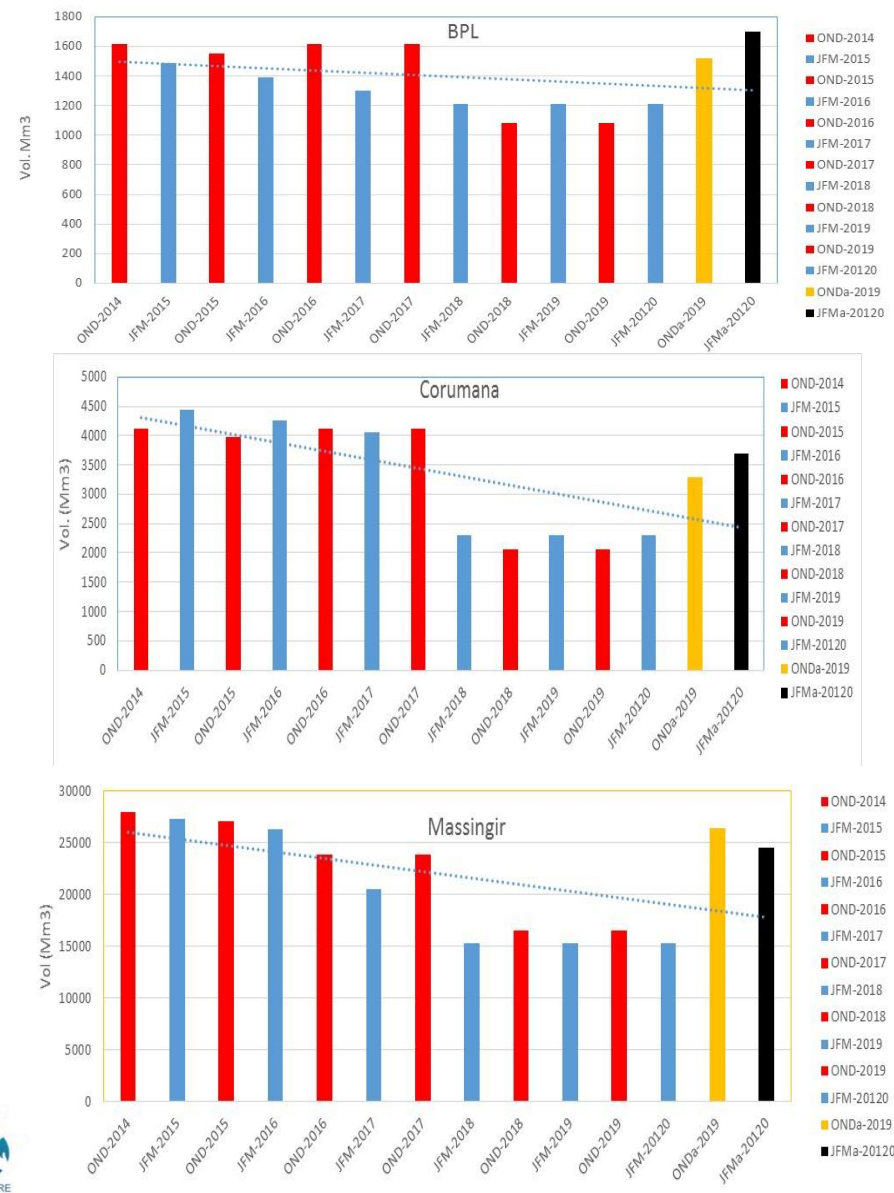
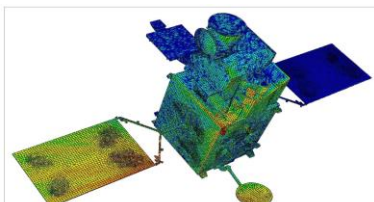
Onde Ve (m^3) é o volume do escoamento superficial sazonal da bacia ou sub-bacia da área a montante onde a albufeira está localizada; Pp (m^3) é o volume da precipitação sazonal prevista.

O cálculo do volume afluente à albufeira é feito (Equação 4.2) pela multiplicação da precipitação e da área de drenagem a montante da albufeira, onde o resultado é ajustado pelo coeficiente de escoamento.

$$V_{precipitado} = CPA \quad (4.2)$$

onde P (m) é a lâmina precipitada e A (m^2) é a área a montante da bacia ou sub-bacia que drena directamente a Albufeira.

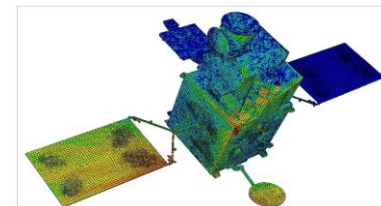
Vilanculos (2021); Asante (2006)





Conclusões

- A Integração de Remote Sensing (RS) – Sistemas de Informação Geográfica (GIS) & Modelação Hidrológica (MH) constitui uma poderosa ferramenta para a gestão de recursos hídricos no mundo hidrológico actual.
- Moçambique precisa de consolidar este conhecimento caso contrario arisca se a exclusão do Mundo IA.





MOPHRH

**Por uma Gestão Integrada e Sustentável dos Recursos
Hídricos**

**OBRIGADO PELA
ATENÇÃO!**