

METODOLOGIA PARA COMPARAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES COM CONCENTRAÇÃO

Grupo 2 – GPT 27 / Autores:
Pablo de A. Lisboa, Ana Paula C.
Guimarães,
Leonardo dos S. R. Vieira, Marcel
S. Alves

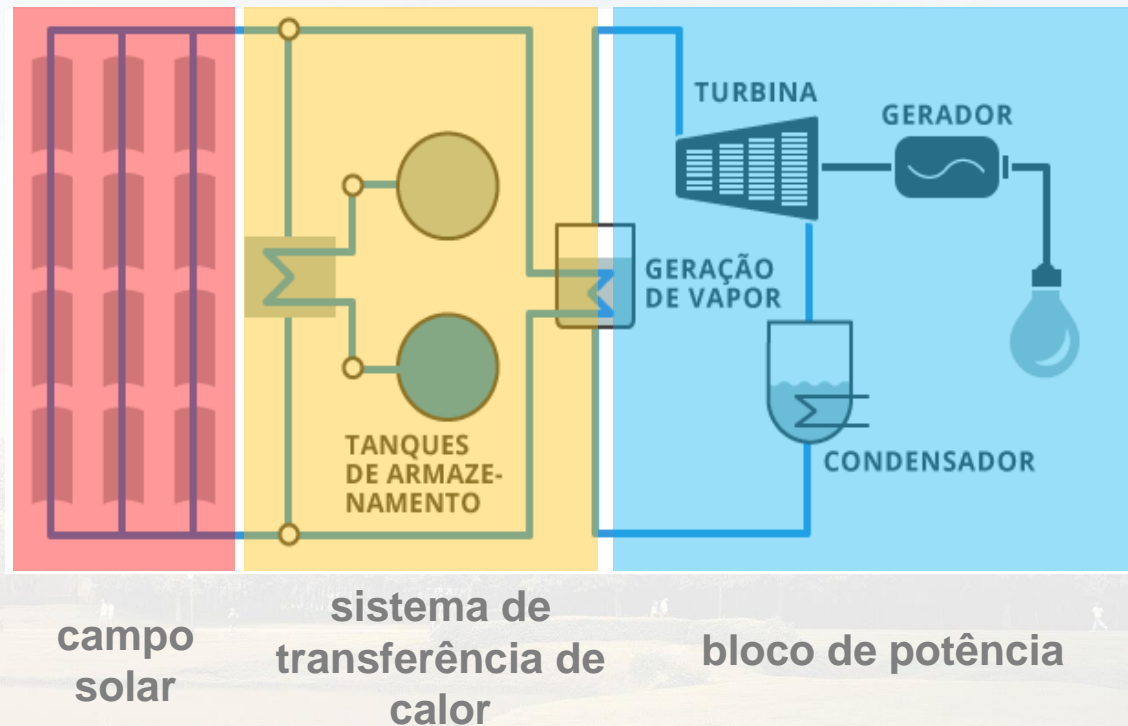
APRESENTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO
2. METODOLOGIA
3. MODELAGEM MATEMÁTICA
4. AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA
5. RESULTADOS OBTIDOS
6. CONCLUSÕES

INTRODUÇÃO

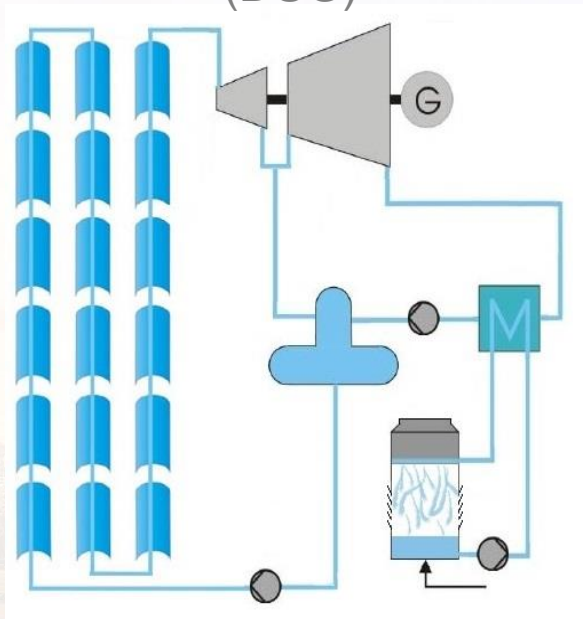
PLANTAS CSP TRADICIONAIS (cilindros parabólicos):

- Fluido térmico com Trocador de calor (HTF)
- Temperatura máxima: 400 °C (Óleo Térmico)
- Ciclo Rankine a vapor d'água
- As perdas no campo solar aumentam com a temperatura



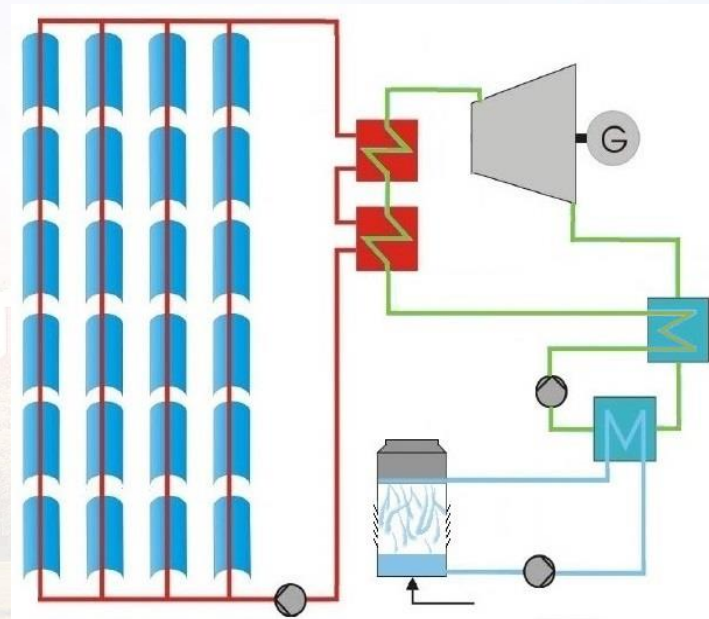
INTRODUÇÃO

Geração Direta de Vapor (DSG)



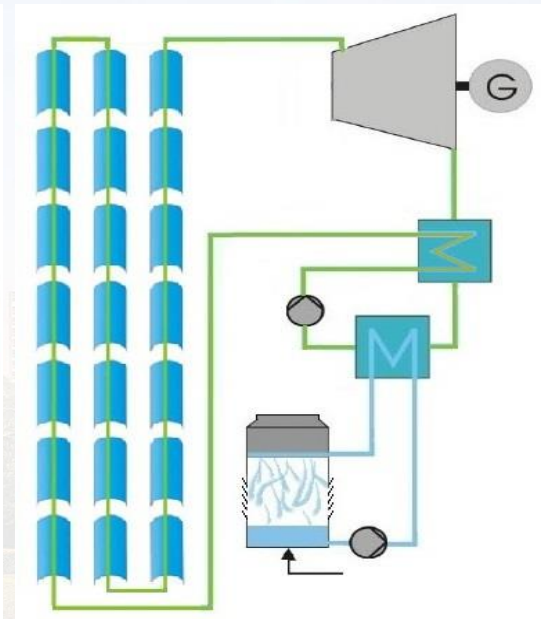
Água

Óleo Térmico (HTF)



Fluido Orgânico - ORC

Geração Direta de Vapor



Fluido Orgânico - ORC

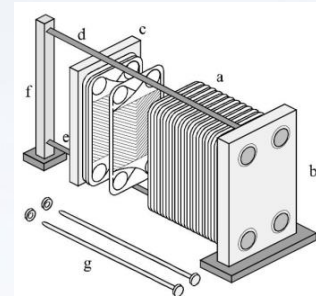
Simulações de usinas com diferentes configurações e fluidos de trabalho:

- 17 fluidos de trabalho: *água, r245fa, r245ca, r365mfc, Isopentano, Pentano, Isohexano, Ciclopentano, Hexano, Dimetilcarbonato, Ciclohexano, Metilciclohexano, Tolueno, Propilciclohexano, Dodecano, Estearato de metila e Oleato de metila*
- Rankine operando no Sub-crítico e no Super-Crítico (SC)

Obtenção de indicadores de desempenho e de custo para cada caso

Comparação e Ranqueamento dos melhores casos

- Software desenvolvido em MATLAB
- Dimensiona os equipamentos em seqüência
- Simula o desempenho térmico individual e global
- Estima o custo dos equipamentos



PROJETOS DE REFERÊNCIA

- ✓ **Projeto HELIOTERM - CEPEL:** Planta de pesquisa, utilizando **HTF** e **Rankine** a vapor, operação: 40bar@375°C, com potência de **1 MWe**;
- ✓ **Projeto DUKE:** Planta de demonstração, Alemanha e Espanha, utilizando **DSG** e **Rankine** a vapor, operação: a 112bar@500°C, com potência de **3 Mwe**;
- ✓ **Usina de SAGUARO:** Planta comercial dos EUA, utilizando **HTF** e um Rankine orgânico - **ORC**, operação: a 22bar@204°C, com potência de **1 MWe**.

Modelagem com plantas de 1 MWe

RESULTADOS - POR INDICADORES

Fluido	Eficiência LÍq. Global - NS1				Custo (\$) – NS5			
	HTF	DSG	SC-HTF	SC-DSG	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG
r245fa	9,45	9,41	10,28	10,30	16.510.762,74	14.444.533,52	14.395.748,30	13.895.041,47
r245ca	11,26	11,28	11,66	11,73	19.088.264,08	15.451.223,01	13.315.145,41	13.111.231,38
r365mfc	12,93	12,98	13,08	13,17	13.960.188,06	12.879.496,66	12.214.835,28	12.297.515,95
Isopentano	13,12	13,11	13,26	13,30	12.648.619,17	12.424.444,25	12.311.420,82	12.399.801,17
Pentano	13,66	13,68	13,89	13,97	12.643.300,73	12.036.041,43	11.916.214,86	12.002.005,48
Isohexano	15,75	15,85	15,85	16,02	11.814.183,09	11.441.696,09	11.122.639,16	11.189.592,34
Ciclopentano	15,77	15,91	15,90	16,14	11.536.470,71	11.311.397,03	11.182.915,31	11.261.335,33
Hexano	16,31	16,45	16,06	16,26	11.138.137,12	11.181.196,46	11.112.470,99	11.158.503,41
dimetilcarbonato	16,58	16,84	16,84	17,33	11.471.217,08	10.798.779,39	10.693.303,56	10.771.947,22
Ciclohexano	10,85	18,55	18,14	18,60	13.062.369,12	10.479.457,97	10.389.173,68	10.445.052,24
metilciclohexano	10,17	19,82	19,09	19,64	13.692.639,07	10.425.618,21	10.018.648,63	10.049.458,34
Tolueno	10,65	19,34	18,57	19,32	13.327.921,40	10.406.948,87	10.346.789,23	10.385.818,83
propilciclohexano	10,10	19,66	18,80	19,70	14.973.259,66	11.073.076,90	9.827.947,54	9.866.259,61
Dodecano	8,77	15,87	15,24	16,04	14.520.931,99	11.251.061,08	10.821.642,56	10.839.617,63
Estearato de metila	5,74	11,75	10,09	11,75	22.240.154,41	15.295.830,75	12.525.460,68	12.553.931,78
Oleato de metila	5,85	12,04	10,23	12,07	18.606.407,96	13.281.393,46	12.176.724,28	12.207.354,15
Água	14,20	25,69			11.195.391,00	10.655.987,56		

RESULTADOS - POR INDICADORES

Para cada indicador, qual fluido tem melhor desempenho e/ou menor custo em uma dada configuração?

Como comparar os resultados para diferentes tecnologias?

NORMALIZAÇÃO

- Adimensionalização
- Atribui “1” para o melhor caso e valores entre “0” e “1” para os demais.
- Permite comparação em uma escala em comum

RESULTADOS - NORMALIZADOS

Fluido	Eficiência LÍq. Global				Eficiência Relativa Carnot				RPR				Número de Coletores				Custo			
	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG
r245fa	0,570	0,366	0,539	0,523	0,830	0,859	0,797	0,819	0,147	0,085	0,223	0,215	0,560	0,391	0,545	0,524	0,675	0,720	0,683	0,710
r245ca	0,679	0,439	0,611	0,595	0,873	0,888	0,834	0,848	0,190	0,099	0,256	0,249	0,667	0,450	0,632	0,579	0,584	0,674	0,738	0,753
r365mfc	0,780	0,505	0,685	0,669	0,928	0,931	0,899	0,909	0,239	0,117	0,314	0,305	0,778	0,529	0,706	0,647	0,798	0,808	0,805	0,802
ipentane	0,791	0,510	0,695	0,675	0,940	0,940	0,908	0,914	0,216	0,100	0,279	0,263	0,824	0,529	0,706	0,647	0,881	0,838	0,798	0,796
pentane	0,824	0,533	0,728	0,709	0,955	0,953	0,922	0,926	0,227	0,110	0,305	0,289	0,824	0,563	0,750	0,688	0,881	0,865	0,825	0,822
ihexane	0,950	0,617	0,830	0,813	1,000	0,988	0,972	0,971	0,295	0,141	0,388	0,371	1,000	0,643	0,857	0,786	0,943	0,910	0,884	0,882
cyclopent	0,951	0,619	0,833	0,820	0,974	0,961	0,938	0,936	0,256	0,126	0,336	0,326	1,000	0,643	0,857	0,786	0,965	0,920	0,879	0,876
hexane	0,984	0,640	0,841	0,826	0,988	0,972	0,962	0,959	0,370	0,144	0,409	0,392	1,000	0,643	0,857	0,786	1,000	0,931	0,884	0,884
dmc	1,000	0,656	0,882	0,880	0,945	0,930	0,903	0,903	0,298	0,177	0,447	0,440	1,000	0,692	0,923	0,846	0,971	0,964	0,919	0,916
cyclohex	0,654	0,722	0,950	0,944	0,600	0,994	0,982	0,980	0,421	0,167	0,450	0,439	0,700	0,750	1,000	0,917	0,853	0,993	0,946	0,945
c1cc6	0,613	0,772	1,000	0,997	0,533	1,000	1,000	1,000	0,466	0,185	0,526	0,511	0,636	0,818	1,000	1,000	0,813	0,998	0,981	0,982
toluene	0,643	0,753	0,973	0,981	0,544	0,950	0,939	0,946	0,465	0,185	0,511	0,501	0,667	0,750	1,000	0,917	0,836	1,000	0,950	0,950
c3cc6	0,609	0,765	0,985	1,000	0,488	0,907	0,902	0,911	1,000	0,390	0,994	0,959	0,636	0,818	1,000	1,000	0,744	0,940	1,000	1,000
c12	0,529	0,618	0,798	0,815	0,408	0,702	0,708	0,715	0,995	0,366	1,000	1,000	0,560	0,643	0,800	0,786	0,767	0,925	0,908	0,910
mstearat	0,346	0,458	0,528	0,596	0,238	0,457	0,422	0,466	0,878	0,290	0,922	0,773	0,368	0,474	0,545	0,579	0,501	0,680	0,785	0,786
moleate	0,353	0,469	0,536	0,613	0,242	0,466	0,426	0,476	0,938	0,305	0,962	0,802	0,378	0,500	0,571	0,611	0,599	0,784	0,807	0,808
water	0,856	1,000			0,667	0,999			0,522	1,000			0,875	1,000			0,995	0,977		

ANÁLISE POR INDICADORES

COMPARAÇÃO ENTRE TODAS AS SIMULAÇÕES

- Após a normalização, um **Indicador Global** é criado considerando os cinco indicadores
- Representa o desempenho de forma geral, independente da tecnologia e do fluido usado e permite a comparação de sistemas com tecnologias distintas

$$I_{global} = \frac{(NS1_{nor} + NS2_{nor} + NS3_{nor} + NS4_{nor} + NS5_{nor})}{5}$$

Fluido	Total global			
	HTF	DSG	SC HTF	SC DSG
r245fa	0,56	0,49	0,56	0,56
r245ca	0,60	0,51	0,62	0,61
r365mfc	0,71	0,58	0,69	0,67
Isopentano	0,73	0,59	0,68	0,66
Pentano	0,75	0,61	0,71	0,69
Isohexano	0,84	0,66	0,79	0,77
Ciclopentano	0,83	0,66	0,77	0,75
Hexano	0,87	0,67	0,79	0,77
dimetilcarbonato	0,85	0,69	0,82	0,80
Ciclohexano	0,65	0,73	0,87	0,85
metilciclohexano	0,62	0,76	0,91	0,90
Tolueno	0,63	0,73	0,88	0,86
propilciclohexano	0,70	0,77	0,98	0,98
Dodecano	0,65	0,65	0,85	0,85
Estearato de metila	0,47	0,47	0,64	0,64
Oleato de metila	0,50	0,51	0,66	0,67
Água	0,79	1,00		

- hexano – melhor fluido para a configuração HTF;
- água – melhor fluido para a configuração DSG;
- propilciclohexano – melhor fluido para a configuração com ciclo Rankine supercrítico, tanto para a configuração HTF quanto para a configuração DSG.

A Água na configuração DSG apresentou o melhor índice global


Todavía esta tecnologia ainda não está madura. Difícil operação no campo solar (água/vapor) devido à fonte de calor intermitente

Fluidos orgânicos permite ganhos de eficiência no ciclo termodinâmico quando comparada com a Água

Pablo Lisboa

 (21) 2598-6078

 (21) 991164525

 pablisboa@cepel.br