



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

THAIS LUANA VIDAL DE NEGREIROS DA SILVA

**ESTRUTURAS REALIMENTADAS COM SENSOR
TERMORRESISTIVO AQUECIDO A DIFERENÇA DE
TEMPERATURA CONSTANTE**

Campina Grande, Paraíba
Março de 2014

THAIS LUANA VIDAL DE NEGREIROS DA SILVA

ESTRUTURAS REALIMENTADAS COM SENSOR
TERMORRESISTIVO AQUECIDO A DIFERENÇA DE
TEMPERATURA CONSTANTE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrônica e instrumentação

Orientador:

Professor Raimundo Carlos Silvério Freire, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba
Março de 2014

THAIS LUANA VIDAL DE NEGREIROS DA SILVA

ESTRUTURAS REALIMENTADAS COM SENSOR
TERMORRESISTIVO AQUECIDO A DIFERENÇA DE
TEMPERATURA CONSTANTE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrônica e instrumentação

Aprovado em 04/03/2015

Professor Benedito Antônio Luciano
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Raimundo Carlos Silvério Freire
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas que me aconselharam e incentivaram durante a realização deste trabalho. Sinto-me profundamente agradecida a todos esses.

Um agradecimento especial a Raimundo Carlos Silvério Freire pela qualidade da supervisão do trabalho realizado. Suas orientações, paciência e explicações tem sido essenciais.

Agradeço também a toda a equipe do LIMC por me permitir trabalhar em um ambiente agradável.

Agradeço enormemente a Adail e Tchai pelo apoio ao longo do curso de Engenharia Elétrica e em todos os procedimentos administrativos.

Agradeço também a minha família e amigos, especialmente Iara, Jane, Raylla, Netinho, Tulio, Cybelle, Arthur, Marcus, Freire e Malone para bons momentos e pelo apoio nos momentos difíceis.

RESUMO

Neste trabalho, analisou-se a dinâmica de saída de um radiômetro utilizando sensores termorresistivos. Para tanto, foram desenvolvidas as expressões que regem o comportamento da tensão de saída (para as arquiteturas com saída analógica) e do *duty cycle* (para as arquiteturas com saída pulsada) em função da radiação, da temperatura ambiente e do ΔT . Posteriormente, estas expressões foram simuladas no Matlab. Verificou-se que em $\Delta T = 7$ se tem maior sensibilidade da tensão de saída para as arquiteturas com saída analógica e radiação em torno de 1500 W/m^2 . Utilizando $\Delta T = 7$, simulou-se a dinâmica de saída em função da radiação para diferentes valores de temperatura ambiente. Observou-se que o sensor PTC é menos sensível à variação da temperatura ambiente do que o sensor NTC. Acerca da dependência da dinâmica de saída em relação à variação da temperatura ambiente, notou-se que, quanto maior a radiação, menor a influência da temperatura ambiente na tensão de saída.

Palavras-chave: Sensores termorresistivos, radiômetro.

ABSTRACT

Output dynamic performance of radiometers based on thermoresistive sensors at Constant Temperature Difference (CTD) was studied on this work. Simulations of output dynamic voltage (for analog voltage architectures) and duty cycle (for pulsed voltage output architectures) according to radiation, environmental temperature and ΔT were developed. All these expressions were simulated by using Matlab for PTC and NTC sensors. The analog output voltage circuits have better sensitivity at $\Delta T = 7$ for solar radiation at 1500 W/m^2 . The circuits using NTC sensors are more insensible to environmental temperature variations. Furthermore, increasing solar radiation level, environmental temperature variations have less influence on dynamic output performance.

Keywords: term resistive sensors, radiometer.

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	4
Resumo.....	5
Abstract.....	6
Sumário.....	7
1 Introdução.....	8
2 Embasamento teórico.....	9
2.1 Circuitos realimentados com sensores termorresistivos a temperatura constante (TC).....	9
2.2 Circuitos realimentados com sensores termorresistivos a Diferença de Temperatura Constante (DTC).....	12
3 Material e métodos.....	14
4 Resultados.....	16
5 Considerações finais.....	24
6 Referências.....	25

1 INTRODUÇÃO

As configurações baseadas em sensores termorresistivos que usam o princípio da equivalência elétrica têm sido utilizadas na medição de grandezas físicas (Freire, Catunda, & Luciano, 2009) como radiação (Lobo, 2015) (Nascimento, Silva, Martins, Lobo, & Freire, 2014), velocidade de fluídos (Leal, Catunda, Ribeiro, & Freire, 2010) (Martins, Freire, & Catunda, 2012) e temperatura, por exemplo. Classicamente, usa-se o sensor aquecido a temperatura constante, previamente escolhida. A variação da grandeza física de entrada (radiação incidente, velocidade de fluido ou temperatura) é compensada pela variação do aquecimento elétrico devido à presença de realimentação negativa, fazendo com que o sensor seja mantido à temperatura praticamente constante.

A estrutura mais comum é composta por uma ponte de Wheatstone, com o sensor em um de seus braços. Nesta, a relação entre o sinal de saída e a grandeza de entrada não é linear. A fim de tornar esta relação linear, pode-se utilizar um modulador de largura de pulso (PWM) na malha de realimentação. Esta configuração possibilita também a conversão direta do sinal de entrada para tensão na forma digital. Baseando-se na arquitetura que utiliza o sensor é aquecido a temperatura constante, neste trabalho, estudou-se o funcionamento de uma arquitetura alternativa, na qual a diferença de temperatura entre o sensor e o ambiente é mantida constante. Foram estudados dois circuitos realimentados, um com saída analógica e outra com saída pulsada, ambos podendo ser utilizados para a medição de radiação.

Para tal, foram desenvolvidas as expressões que relacionam a dinâmica de saída à diferença de temperatura entre o sensor e o ambiente, à radiação incidente, à temperatura ambiente e aos parâmetros intrínsecos aos sensores. Estas expressões foram simuladas no Matlab para os sensores PTC e NTC. O capítulo 2 deste relatório contempla o embasamento teórico necessário para entender o funcionamento das arquiteturas a Temperatura Constante (TC) e a Diferença de Temperatura Constante (DTC). No capítulo 3, são apresentadas a metodologia e as ferramentas utilizada, bem como os parâmetros das simulações. O capítulo 4 corresponde à apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos por meio da simulação. Este relatório é finalizado com o capítulo 5, que corresponde às considerações finais.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

No decorrer deste capítulo, são apresentados os principais aspectos teóricos acerca dos circuitos realimentados que utilizam sensores termorresistivos para a medição de radiação à Diferença de Temperatura Constante (DTC).

Um sensor de temperatura tende a entrar em equilíbrio térmico com o ambiente no qual está inserido. Desta forma, variações na temperatura ambiente tendem a modificar a temperatura do sensor. Classicamente, utiliza-se uma ponte de Wheatstone, juntamente com um amplificador operacional com realimentação negativa para compensar os efeitos da variação da temperatura ambiente no sensor, fazendo com que esta permaneça constante.

A realimentação negativa do amplificador operacional tem por objetivo manter a ponte de Wheatstone equilibrada, na qual existe um sensor termorresistivo em um dos seus braços. Portanto, a temperatura do sensor permanece constante. Quaisquer variações na grandeza física de entrada tendem a desequilibrar a ponte, fazendo com que o amplificador operacional varie a tensão de saída. Por conseguinte, a potência dissipada no sensor também é variada e a ponte retorna ao equilíbrio.

Apesar de o objeto de estudo deste trabalho ser a arquitetura a DTC, será realizado um estudo teórico preliminar sobre a arquitetura a TC, uma vez que a primeira pode ser considerada uma modificação desta última.

2.1 CIRCUITOS REALIMENTADOS COM SENSORES TERMORRESISTIVOS A TEMPERATURA CONSTANTE (TC)

Nos circuitos realimentados com sensores termorresistivos a temperatura constante (TC), utiliza-se uma ponte de Wheatstone. O sensor é localizado em um dos braços da ponte, tal como é mostrado na Figura 1. R_s representa a resistência elétrica do sensor. Já a fonte de tensão V_{desvio} representa a tensão de offset do amplificador

operacional, a qual assume papel importante no que diz respeito à estabilidade do circuito (Araújo, Freire, Silva, Catunda, & Fontgalland, 2007).

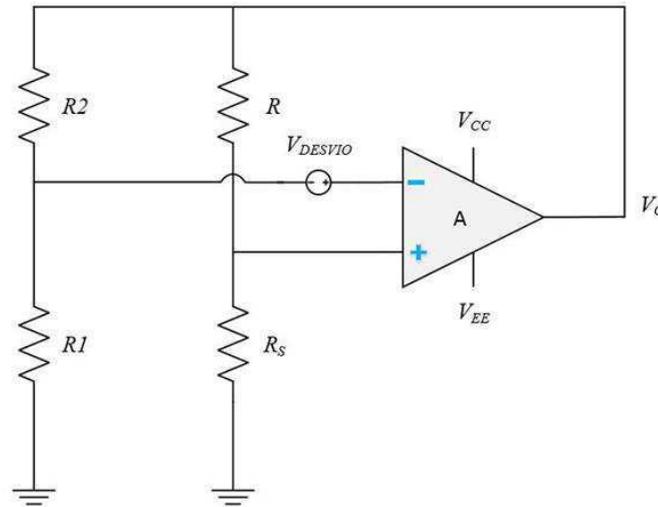


FIGURA 1: CIRCUITO REALIMENTADO UTILIZANDO SENSOR TERMORRESISTIVO AQUECIDO A TEMPERATURA CONSTANTE – SAÍDA ANALÓGICA

Os sensores termorresistivos podem ser de dois tipos: *Positive Temperature Coefficient* (PTC) ou *Negative Temperature Coefficient* (NTC). Os primeiros são caracterizados pelo aumento da sua resistência elétrica quando a temperatura do sensor aumenta. Já nestes últimos, a resistência elétrica reduz quando a temperatura aumenta. A variação da resistência destes sensores em função da variação da sua temperatura é dada pelas expressões (1) e (2), em que R_0 é a resistência do sensor a uma temperatura de referência T_0 , β e B são os coeficientes de temperatura e T_s é a temperatura do sensor.

$$R_s = R_0 (1 + \beta T_s) \quad (1)$$

$$R_s = R_0 e^{B(T_s^{-1} - T_0^{-1})} \quad (2)$$

Para o caso do sensor PTC, por exemplo, com o sensor aquecido e submetido a um aumento da radiação, sua temperatura tende a aumentar e sua resistência também. Desta forma, com a realimentação do circuito, a corrente através do sensor diminui, de modo a manter sua resistência R_s e sua temperatura T_s aproximadamente constantes. Caso a grandeza de entrada diminua, o processo ocorre de forma inversa.

Quantitativamente, é possível descrever o comportamento dos sensores PTC e NTC para a medição de temperatura, radiação ou velocidade de fluidos a partir da primeira lei da termodinâmica. Especificamente para a medição de radiação, em regime permanente, tem-se a expressão (3), na qual α é o coeficiente de absorção, S é a área

exposta a radiação incidente, H é a radiação incidente na superfície do sensor, V_s é a tensão sobre o sensor, R_s é a resistência do sensor, U é a constante de troca de calor do sensor com o ambiente, T_s é a temperatura do sensor e T_a a temperatura ambiente.

$$\alpha SH + \frac{V_s^2}{R_s} = US(T_s - T_a) \quad (3)$$

Para efeito de análise do circuito, será considerado $V_{\text{desvio}} = 0$.

Sabe-se que, pelo fato de haver realimentação negativa no circuito da Figura 1, a tensão na entrada inversora do amplificador operacional será igual à tensão na entrada não inversora (Sedra & Smith, 2007). Esta corresponde à tensão sobre o sensor, dada pela expressão (4).

$$V_s = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_0 = kV_0 = \frac{R_s}{R_s + R} V_0 \quad (4)$$

Substituindo (4) em (3), obtém-se (5).

$$V_0 = \frac{1}{k} \sqrt{R_s [US(T_s - T_a) - \alpha SH]} \quad (5)$$

Outra configuração possível é a que um modulador de largura de pulso (PWM) na malha de realimentação (Figura 2). PWM é uma técnica de modulação que adapta a largura ou duração do pulso (τ) baseado na informação do sinal modulante. No âmbito deste trabalho, o sinal modulante é V_0 .

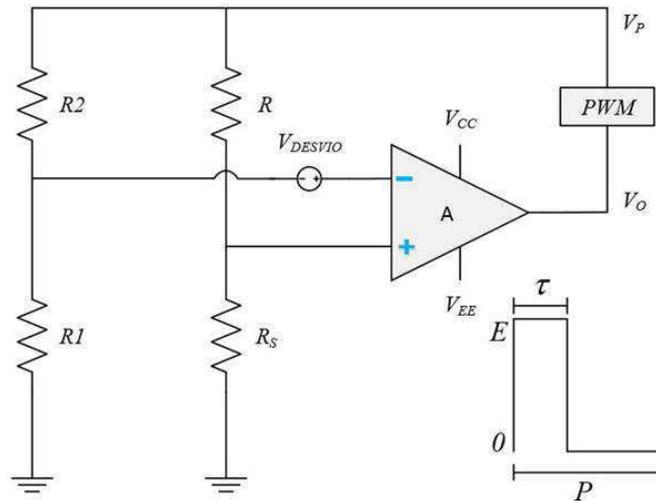


FIGURA 2: CIRCUITO REALIMENTADO UTILIZANDO SENSOR TERMORRESISTIVO AQUECIDO A TEMPERATURA CONSTANTE – SAÍDA MODULADA

A tensão eficaz na saída deste circuito é dada pela expressão (6). Substituindo (6) em (5), obtém-se (7). P e E são constantes e τ é a duração do pulso (τ/P é a variável de saída, chamada comumente de ciclo de trabalho ou duty cycle).

$$V_0 = E\sqrt{\frac{\tau}{P}} \quad (6)$$

$$\frac{\tau}{P} = \frac{1}{k^2 E^2} \left[R_s [US(T_s - T_a) - \alpha SH] \right] \quad (7)$$

O circuito mostrado na Figura 2 tem a vantagem de ter uma relação linear entre o sinal de saída e a grandeza de entrada, contrariamente ao mostrado na Figura 1. Além disso, ele tem a vantagem de permitir a conversão direta do sinal de entrada para tensão na forma digital.

Foram apresentados, até então, circuitos responsáveis por compensar as variações da temperatura ambiente de forma manter a temperatura do sensor constante. O objetivo deste trabalho é, entretanto, estudar o comportamento de arquiteturas capazes de manter a diferença de temperatura entre o sensor e o ambiente constantes. As arquiteturas a DTC podem ser entendidas como uma modificação das estruturas a TC.

2.2 CIRCUITOS REALIMENTADOS COM SENSORES TERMORRESISTIVOS A DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE (DTC)

Uma arquitetura alternativa aos circuitos da Figura 1 é apresentada na Figura 3. Nesse circuito, utiliza-se um bloco C , cuja saída será kV_0 tal que a diferença de temperatura entre o sensor e o ambiente permaneça constante. Em outras palavras, será ajustado o valor de k tal que $\Delta T = T_s - T_a$ permaneça constante.

A principal diferença entre a tensão de saída deste circuito para o mostrado na Figura 1 é que $T_s - T_a$ é constante. Desta forma, substituindo-se $T_s - T_a$ por ΔT , obtém-se a expressão (8).

$$V_0 = \frac{1}{k} \sqrt{R_s [US\Delta T - \alpha SH]} \quad (8)$$

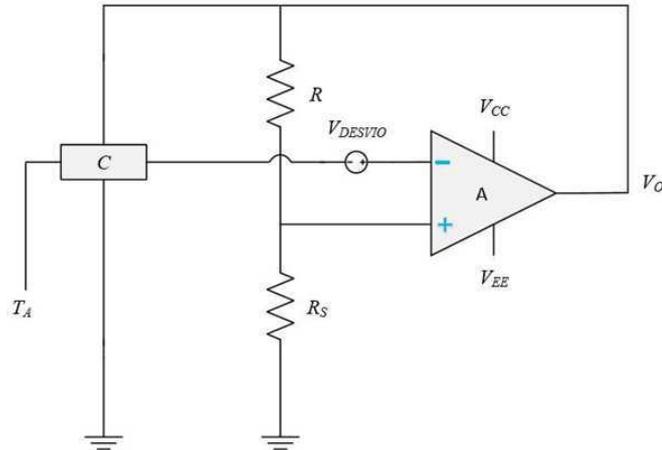


FIGURA 3: CIRCUITO REALIMENTADO UTILIZANDO SENSOR TERMORRESISTIVO AQUECIDO A DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE – SAÍDA ANALÓGICA

De maneira similar à configuração clássica (TC), na qual a temperatura do sensor é mantida constante, tem-se a possibilidade de modular a saída V_O por meio de um PWM, como mostrado na Figura 4.

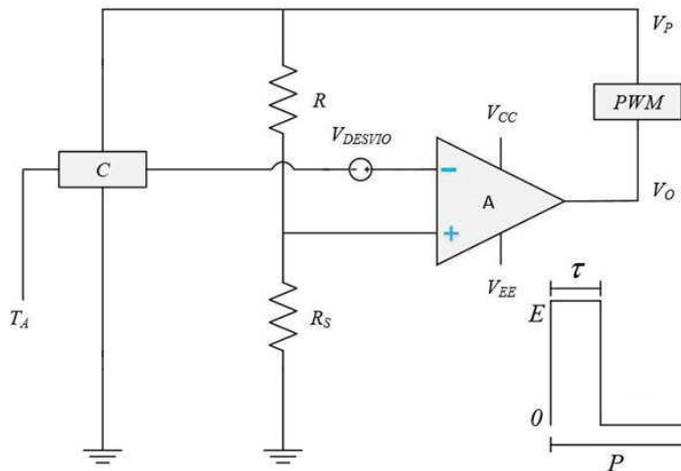


FIGURA 4: CIRCUITO REALIMENTADO UTILIZANDO SENSOR TERMORRESISTIVO AQUECIDO A DIFERENÇA DE TEMPERATURA CONSTANTE – SAÍDA PULSADA

Como a expressão (7) ainda é válida, tem-se a expressão (9) definindo o comportamento do ciclo de trabalho na saída do amplificador da Figura 4.

$$\frac{\tau}{P} = \frac{1}{k^2 E^2} \left[R_s [US\Delta T - \alpha SH] \right] \quad (9)$$

Assim como no caso de TC, a arquitetura com DTC e saída pulsada também tem a vantagem de ter uma relação linear entre o sinal de saída e a grandeza de entrada, contrariamente a com saída analógica, também permitindo a conversão direta do sinal de entrada para tensão na forma digital.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item, são apresentadas as expressões utilizadas na simulação da dinâmica de saída dos circuitos realimentados utilizando sensores termorresistivos a DTC para medição de radiação.

Substituindo as expressões (1) e (2), que correspondem às resistências dos sensores PTC e NTC, respectivamente, nas expressões (8) e (9), referentes à dinâmica de saída dos circuitos a DTC com saída analógica e pulsada, obtém-se as expressões (10), (11), (12) e (13).

	Saída analógica		Saída pulsada	
PTC	$V_o = \frac{1}{k} \sqrt{R_0(1 + \beta(\Delta T + T_a))} [US\Delta T - \alpha S H]$	(10)	$\frac{\tau}{P} = \frac{1}{k^2 E^2} [R_0(1 + \beta(\Delta T + T_a)) [US\Delta T - \alpha S H]]$	(11)
NTC	$V_o = \frac{1}{k} \sqrt{R_0 e^{B((\Delta T + T_a)^{-1} - T_0^{-1})}} [US\Delta T - \alpha S H]$	(12)	$\frac{\tau}{P} = \frac{1}{k^2 E^2} [R_0 e^{B((\Delta T + T_a)^{-1} - T_0^{-1})} [US\Delta T - \alpha S H]]$	(13)

De posse das expressões, foram realizadas simulações no Matlab a fim de avaliar a variável de saída (tensão de saída analógica ou duty cycle) em função da radiação. Para tal, foi necessário um estudo preliminar a fim de identificar o ΔT que proporcionaria maior sensibilidade na variável de saída. Posteriormente, verificou-se o quanto sensível é a saída do circuito em função das variações da temperatura ambiente.

Como se deseja utilizar a arquitetura a DTC para medição de radiação, é importante poder encontrar o valor da radiação. Utilizando as expressões da dinâmica de saída, é possível obter as expressões de reconstrução da radiação (14), (15), (16) e (17). Nota-se que é necessário conhecer, além dos parâmetros intrínsecos ao sensor (α , S , U , β , B , R_0), V_o , τ e T_a , que podem ser medidos, ΔT , E e P , que são conhecidos.

	Saída analógica		Saída pulsada	
PTC	$H = \frac{1}{\alpha S} \left(US\Delta T - \frac{k^2 V_o^2}{R_0(1 + \beta(\Delta T + T_a))} \right)$	(14)	$H = \frac{1}{\alpha S} \left(US\Delta T - \frac{k^2 E^2 \tau}{R_0 P(1 + \beta(\Delta T + T_a))} \right)$	(15)
NTC	$H = \frac{1}{\alpha S} \left(US\Delta T - \frac{k^2 V_o^2}{R_0 e^{B((\Delta T + T_a)^{-1} - T_0^{-1})}} \right)$	(16)	$H = \frac{1}{\alpha S} \left(US\Delta T - \frac{k^2 E^2 \tau}{R_0 e^{B((\Delta T + T_a)^{-1} - T_0^{-1})}} \right)$	(17)

Com as expressões de saídas analógicas e em largura de pulso desenvolvidas, e com a utilização de parâmetros de sensores termorresistivos comerciais, simulou-se a

dinâmica de saída segundo as expressões de (14) a (17), avaliando-se a dependência da grandeza de saída V_o com a grandeza interferente, T_a , com a radiação incidente e com ΔT . Para tanto, foram utilizados os valores mostrados na

Tabela 1.

TABELA 1: VALORES UTILIZADOS NA SIMULAÇÃO

	Sensor PTC		Sensor NTC
U	211,5 W/m ² °C	U	211,5 W/m ² °C
α	0,9	α	0,9
S	20 mm ²	S	1,8mm ²
R_0	100 Ω	R_0	3066 Ω
β	0,00385 °C ⁻¹	B	3650 K
E	3,8 V	E	0,35 V

4 RESULTADOS

Neste item, são apresentados os principais resultados referentes à dinâmica da tensão de saída para radiômetros baseados em sensores termorresistivos aquecidos à DTC.

Inicialmente, verificou-se qual o valor de ΔT que proporciona maior variação da tensão de saída. Os resultados desta simulação se encontram nos gráficos da Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8.

Nota-se que a região de maior sensibilidade da tensão de saída (região de maior derivada) é para ΔT em torno de 7, o que é mais perceptível nas curvas referentes aos sensores PTC e NTC com saída analógica para elevados níveis de radiação ($H = 1500 \text{ W/m}^2$). Além disso, praticamente não há influência do ΔT no comportamento da tensão de saída para os dois sensores na arquitetura com saída pulsada. Com este valor, serão realizadas simulações da tensão de saída em função da radiação incidente, bem como a influência da variação da temperatura ambiente na dinâmica de saída do sensor.

Utilizando $\Delta T = 7$, simulou-se a dinâmica de saída em função da radiação, a fim de verificar para qual(ais) nível(eis) de radiação proporcional maior faixa de operação, bem como o seu comportamento para diferentes valores de radiação. Os resultados desta simulação se encontram nos gráficos da Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12.

Observando-os, é notável que a dinâmica do sensor PTC é pouco dependente das mudanças na temperatura ambiente. Em outras palavras, sensor PTC é menos sensível à variação da temperatura ambiente do que o sensor NTC. No que concerne o sensor NTC, nota-se que a arquitetura com saída pulsada possui melhor dinâmica de saída (faixa de operação), sobretudo para baixas temperaturas (da ordem de $20 \text{ }^\circ\text{C}$). Além disso, na medida em que a temperatura ambiente aumenta, a faixa de operação do sensor diminui.

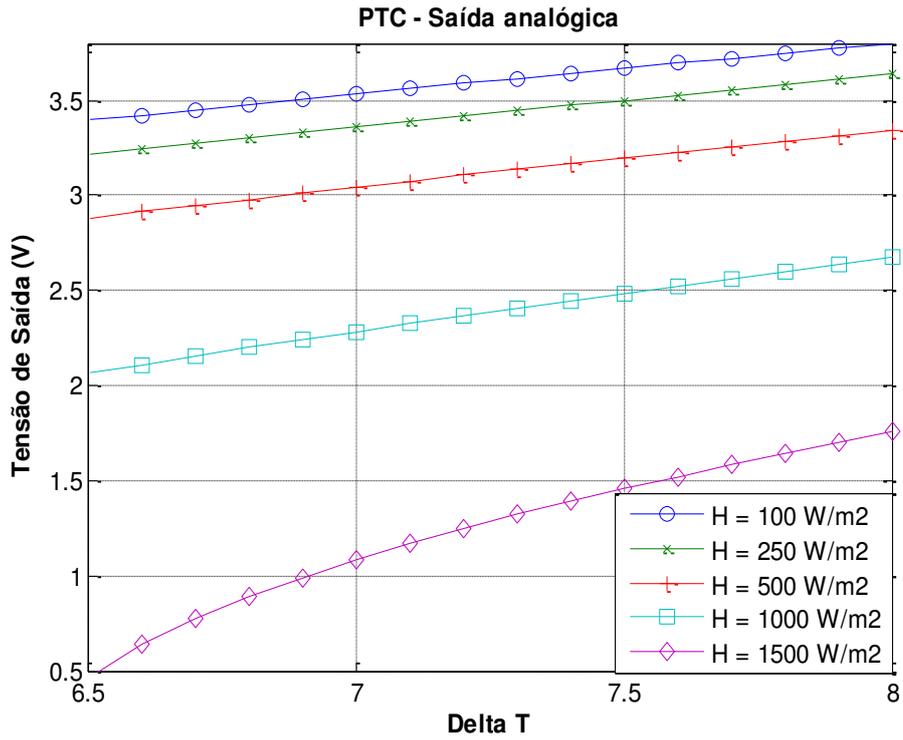


FIGURA 5: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR PTC COM SAÍDA ANALÓGICA

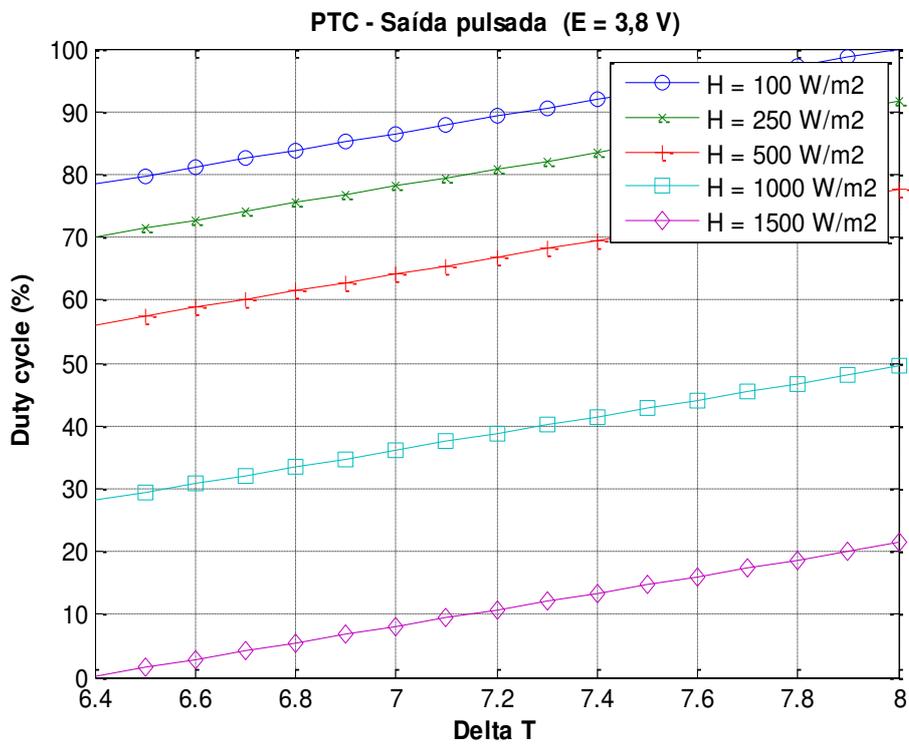


FIGURA 6: DUTY CYCLE VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR PTC COM SAÍDA PULSADA

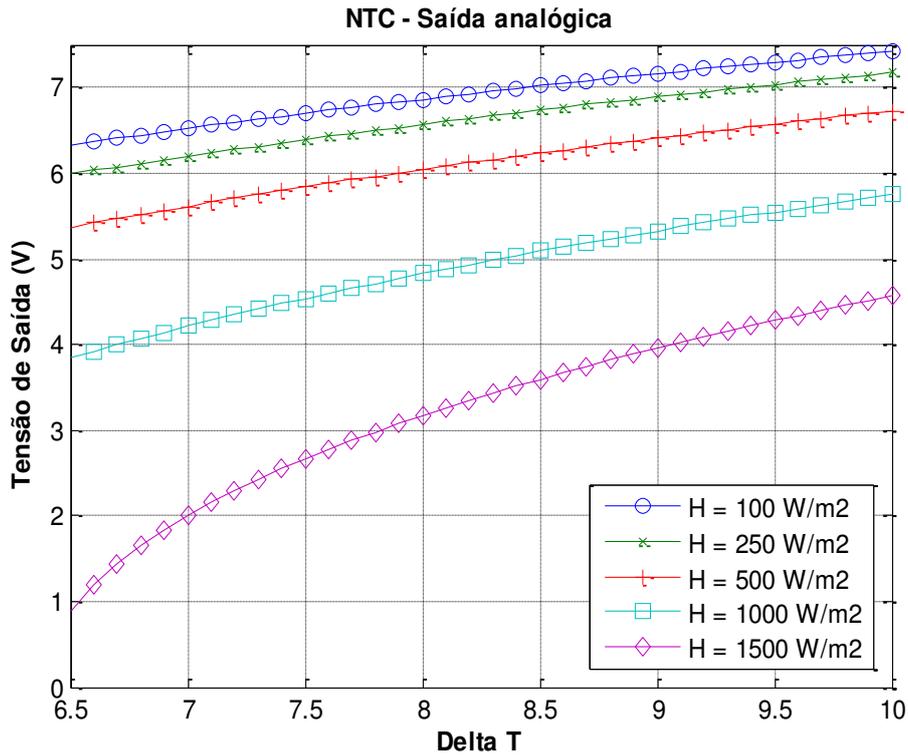


FIGURA 7: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR NTC COM SAÍDA ANALÓGICA

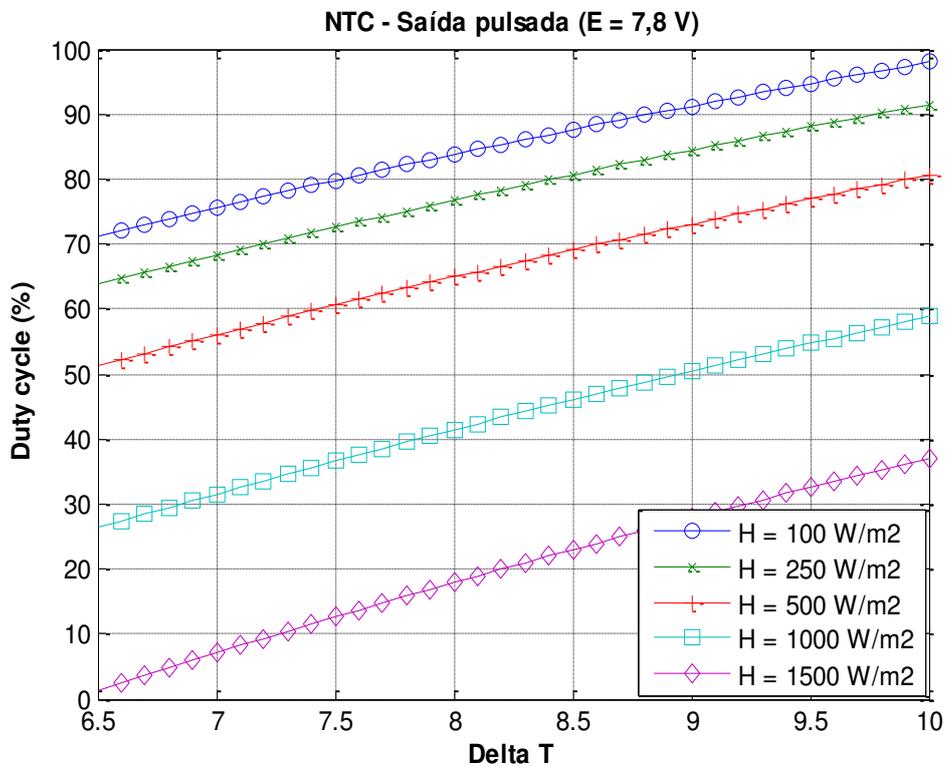


FIGURA 8: DUTY CYCLE VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR NTC COM SAÍDA PULSADA

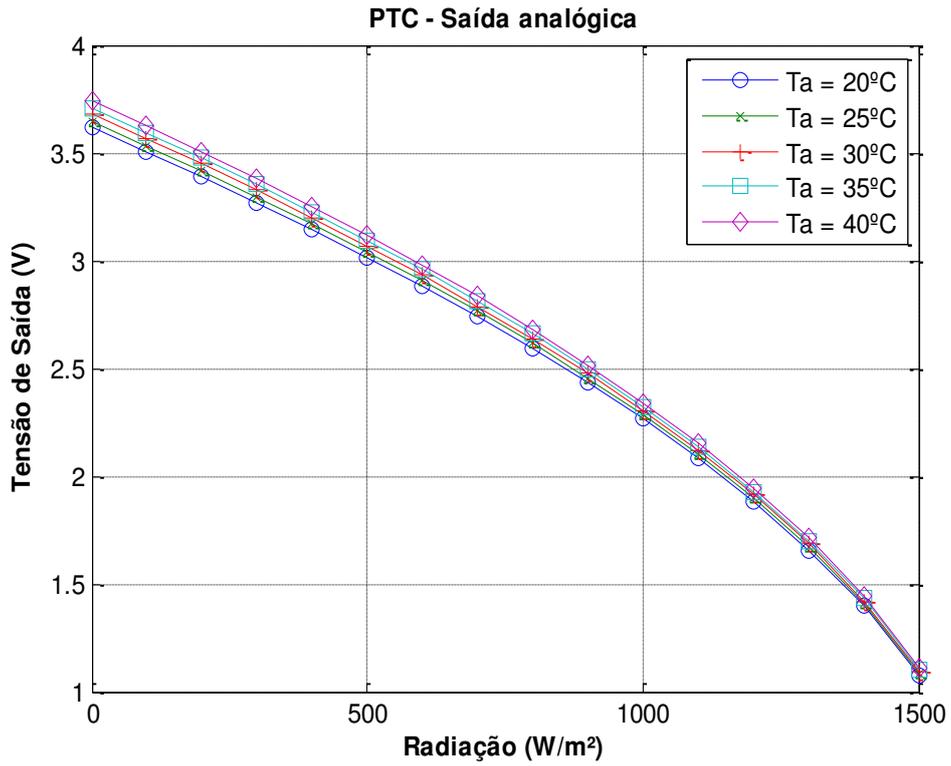


FIGURA 9: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR PTC COM SAÍDA ANALÓGICA

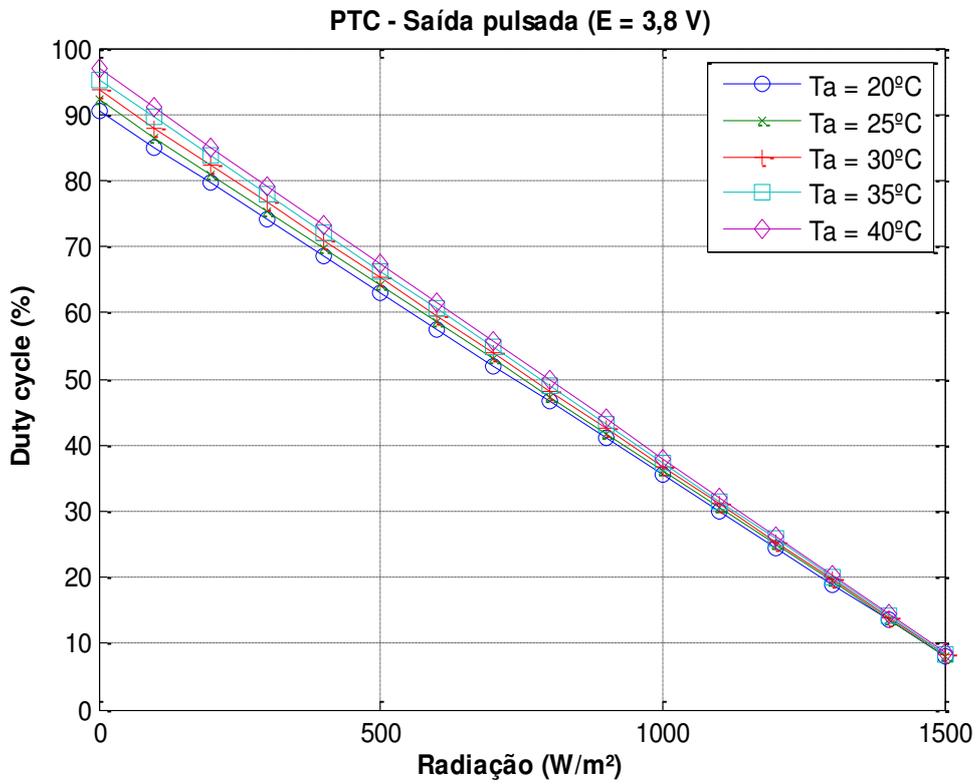


FIGURA 10: DUTY CYCLE VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR PTC COM SAÍDA ANALÓGICA

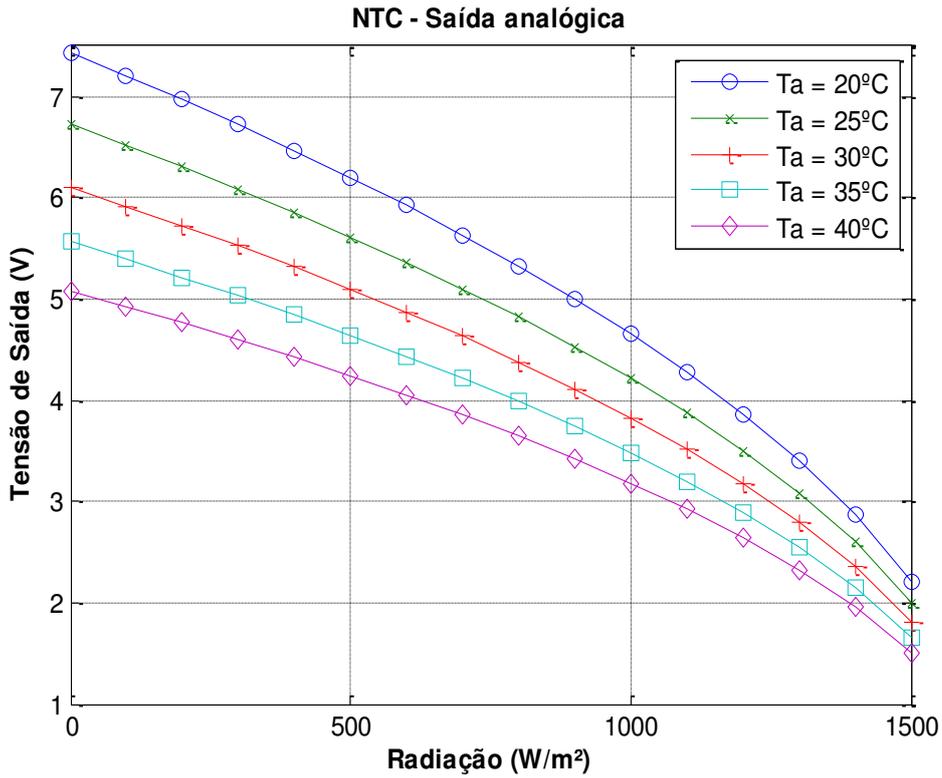


FIGURA 11: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR NTC COM SAÍDA ANALÓGICA

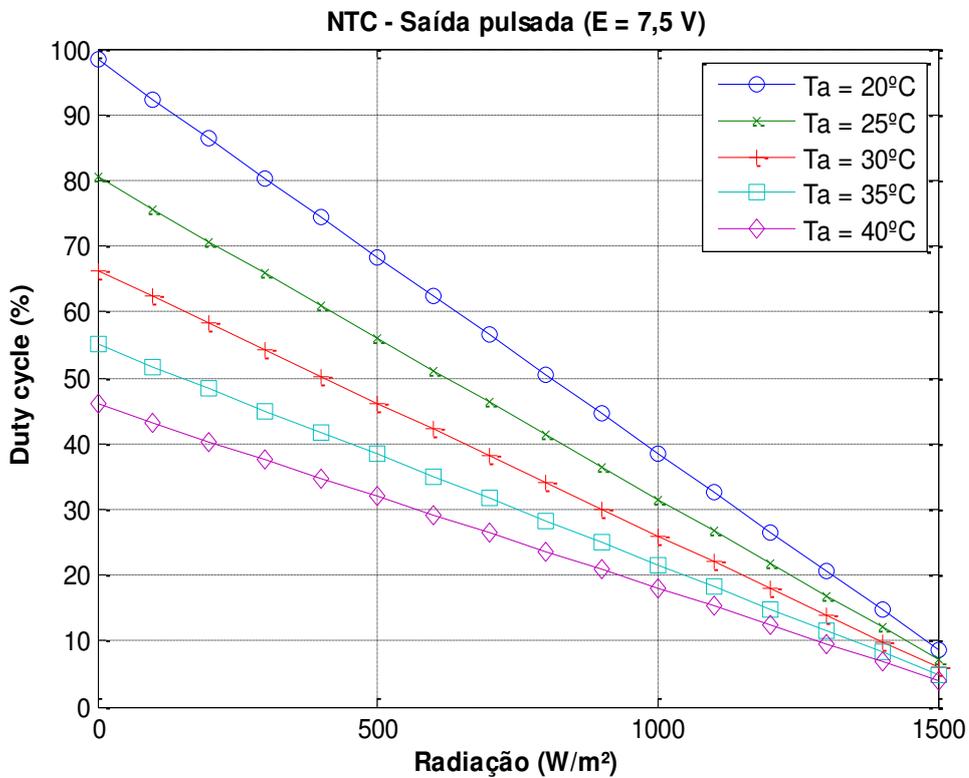


FIGURA 12: DUTY CYCLE VERSUS ΔT PARA VÁRIOS VALORES DE RADIAÇÃO – SENSOR NTC COM SAÍDA ANALÓGICA

Por fim, simulou-se a dinâmica de saída em função da temperatura ambiente, a fim de verificar a influência desta na grandeza elétrica de saída. Os resultados obtidos podem ser verificados na Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16.

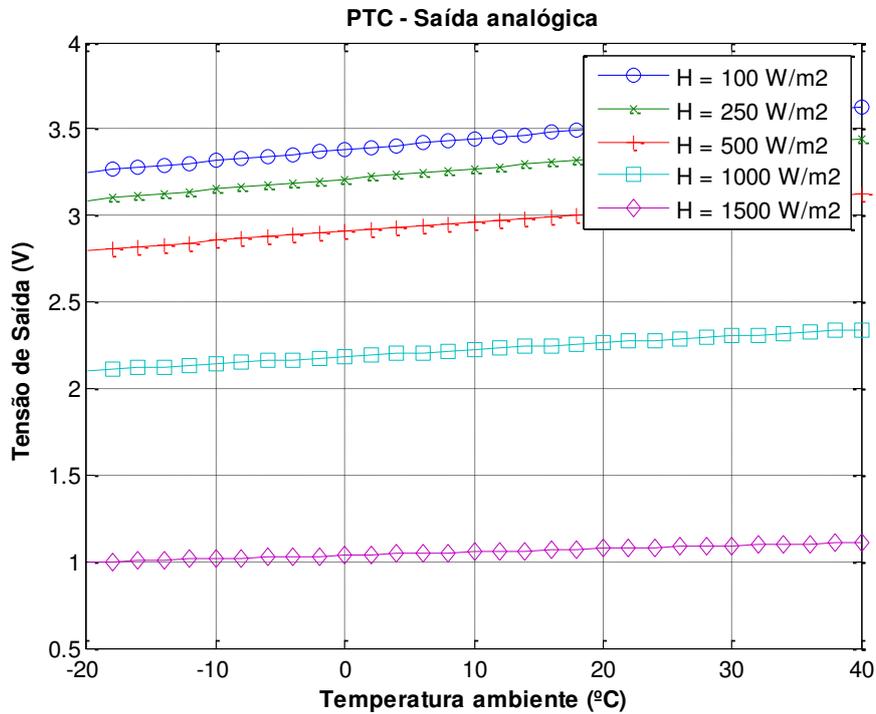


FIGURA 13: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS TEMPERATURA AMBIENTE – SENSOR PTC COM SAÍDA ANALÓGICA

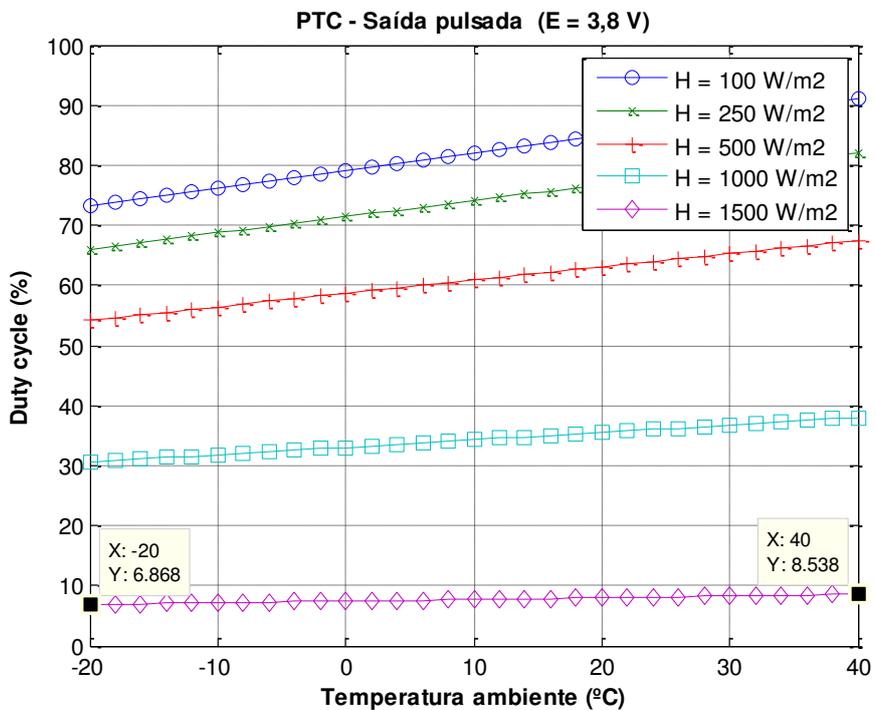


FIGURA 14: DUTY CYCLE VERSUS TEMPERATURA AMBIENTE – SENSOR PTC COM SAÍDA PULSADA

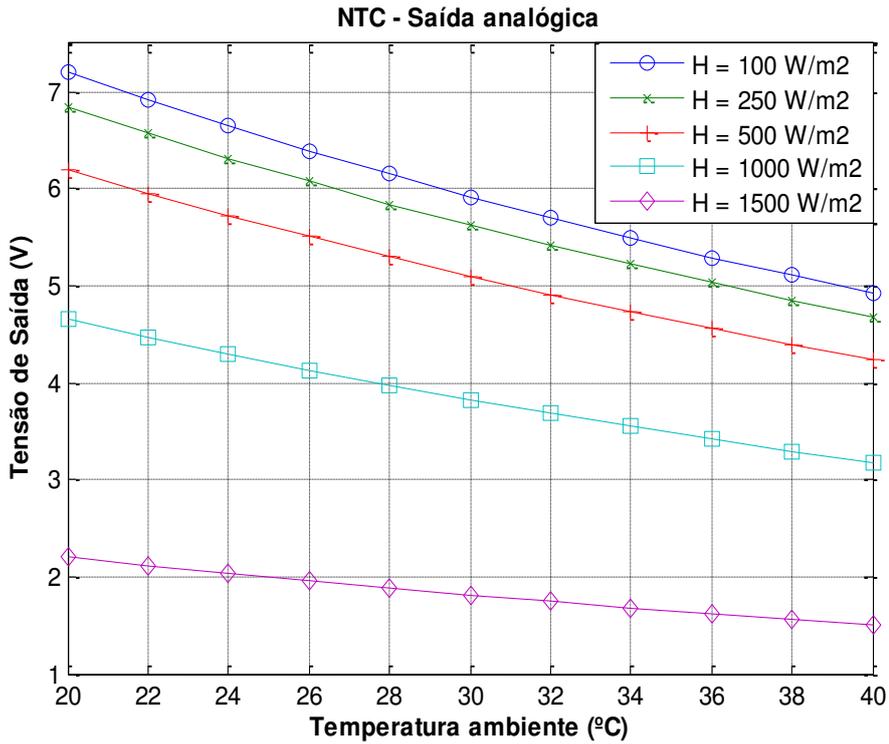


FIGURA 15: TENSÃO DE SAÍDA VERSUS TEMPERATURA AMBIENTE – SENSOR NTC COM SAÍDA ANALÓGICA

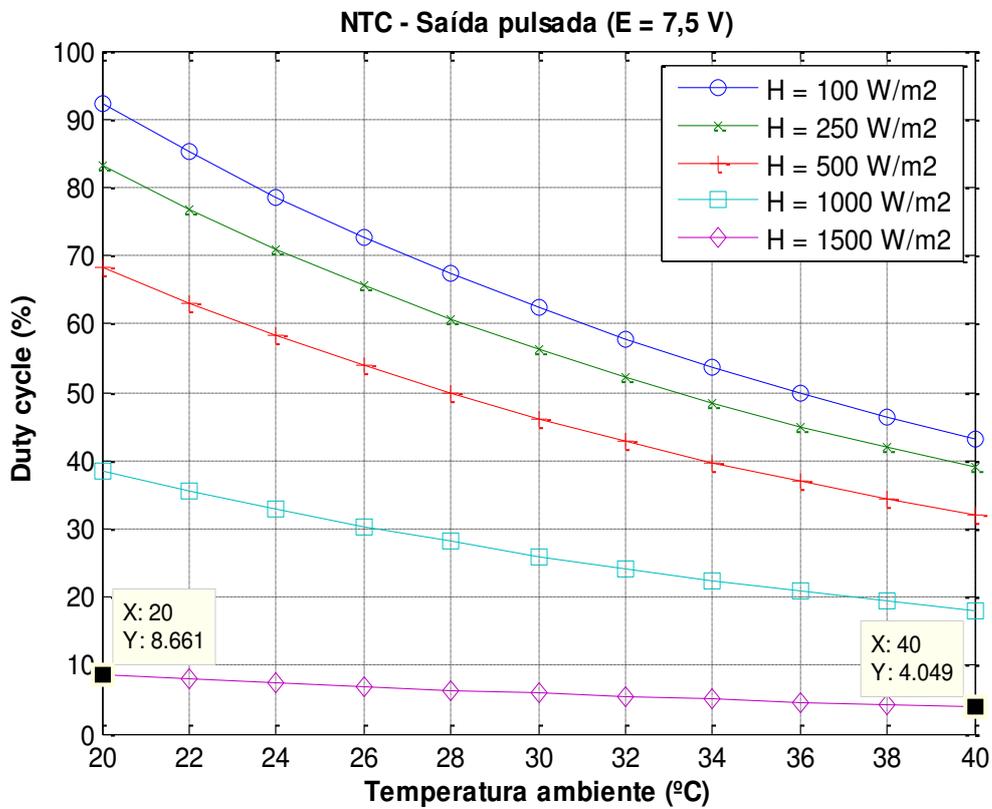


FIGURA 16: DUTY CYCLE VERSUS TEMPERATURA AMBIENTE – SENSOR NTC COM SAÍDA PULSADA

Nota-se que, para todos os casos, quanto maior a radiação, menor a influência da temperatura ambiente na tensão de saída. Mais especificamente, a menor sensibilidade da dinâmica de saída em relação à variação da temperatura ambiente é obtida para a radiação $H = 1500 \text{ W/m}^2$ para o sensor PTC com saída pulsada $(8,538-6,868) = 1,67\%$.

A fim de tornar mais eficiente a análise dos resultados, propõe-se a comparação por meio do Quadro 1.

QUADRO 1: COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DE SIMULAÇÃO

		ΔT que proporciona maior variação da tensão de saída	T_a que proporciona maior faixa de operação	Nível de radiação que proporciona menor sensibilidade da dinâmica de saída à variação de T_a
PTC	Saída analógica	$6,5 \leq \Delta T \leq 7$	Indiferente	1500 W/m^2
	Saída pulsada	Indiferente	Indiferente	1500 W/m^2
NTC	Saída analógica	$6,5 \leq \Delta T \leq 7,5$	$20 \text{ }^\circ\text{C}$	1500 W/m^2
	Saída pulsada	Indiferente	$20 \text{ }^\circ\text{C}$	1500 W/m^2

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, analisou-se a dinâmica de saída de um radiômetro utilizando sensores termorresistivos. Para tanto, foram desenvolvidas as expressões que regem o comportamento da tensão de saída (para as arquiteturas com saída analógica) e do *duty cycle* (para as arquiteturas com saída pulsada) em função da radiação, da temperatura ambiente e do ΔT . Posteriormente, estas expressões foram simuladas no Matlab.

Verificou-se que em $\Delta T = 7$ se tem maior sensibilidade da tensão de saída para as arquiteturas com saída analógica e radiação em torno de 1500 W/m^2 . Utilizando $\Delta T = 7$, simulou-se a dinâmica de saída em função da radiação para diferentes valores de temperatura ambiente.

Observou-se que o sensor PTC é menos sensível à variação da temperatura ambiente do que o sensor NTC. Acerca da dependência da dinâmica de saída em relação à variação da temperatura ambiente, notou-se que, quanto maior a radiação, menor a influência da temperatura ambiente na tensão de saída.

6 REFERÊNCIAS

- Araújo, G. A., Freire, R. C., Silva, J. F., Catunda, S. Y., & Fontgalland, G. (2007). DC-Amplifier-Input-Offset-Voltage Control in a Constant-Temperature Thermoresistive-Sensor-Measurement Instrument. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 56, pp. 778-783.
- Freire, R. C., Catunda, S. Y., & Luciano, B. A. (2009). Applications of Thermoresistive Sensors Using the Electric Equivalence Principle. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58, pp. 1823 – 1830.
- Leal, S. V., Catunda, S. Y., Ribeiro, L. A., & Freire, R. C. (2010). Automatic Dynamic Range Adjustment of a Controlled-temperature Thermoresistive-based Anemometer. *Instrumentation and Measurement Technology Conference*.
- Lobo, P. C. (2015) Radiômetro solar de equivalência de elétrica com sensor aquecido à diferença de temperatura constante. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.
- Martins, V. S., Freire, R. C., & Catunda, S. Y. (2012). Sensitivity Analysis and Automatic Adjustment of a Controlled-Temperature Thermoresistive-Based Anemometer. *I2MTC*.
- Nascimento, V. M., Silva, T. L., Martins, V. S., Lobo, P. C., & Freire, R. C. (2014). Output Dynamic Range of Radiometer based on Thermoresistive Sensors. *I2MTC*.
- Sedra, A., & Smith, K. (2007). *Microeletrônica* (5ª ed.). Pearson Prentice Hall.