

## **TRABALHANDO O CONCEITO DE DISPOSITIVOS SEMICONDUTORES EM ELETRÔNICA ANALÓGICA ATRAVÉS DE UMA ESTRATÉGIA DE PROJETO PARA FONTES REGULADAS**

**Isnaldo José de Souza Coêlho** – isnaldo.coelho@univasf.edu.br

CENEL - Colegiado de Engenharia Elétrica

Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Campus Juazeiro – Av. Antônio Carlos Magalhães, 510 – Santo Antônio

CEP 48902-300 – Juazeiro – BA, Brasil.

**Fabrcio Braga Soares de Carvalho** – fabricio.braga@univasf.edu.br

CECOMP - Colegiado de Engenharia da Computação

Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF

Campus Juazeiro – Av. Antônio Carlos Magalhães, 510 – Santo Antônio

CEP 48902-300 – Juazeiro – BA, Brasil.

**Guilherme Moreira Farias** – gui.ibce@gmail.com

**Paulo Junior Dias da Silva** – pauljunior\_pj@hotmail.com

***Resumo:** A verificação em aulas práticas de conceitos fundamentais da teoria dos materiais e dispositivos semicondutores pode conferir aos estudantes a capacidade de realizar sistemas mais complexos a partir de idéias simples. Este artigo apresenta como o conhecimento a priori das características elétricas de dispositivos semicondutores pode levar à elaboração mais consciente de uma fonte de tensão, conduzindo a resultados destacados com relação à aquisição de competências por parte dos discentes dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação.*

***Palavras-chave:** Semicondutores, Fonte de Tensão, Ensino orientado a projetos.*

### **1 INTRODUÇÃO**

O estudo da física de materiais e dispositivos semicondutores costuma ser subestimado nos currículos dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação no Brasil. Tradicionalmente se propõe que a Engenharia se restrinja à “aplicação” dos dispositivos semicondutores na realização de circuitos de interesse prático, em geral por intermédio de simplificações que conduzam a modelos lineares equivalentes e viabilizem o emprego das teorias convencionais de circuitos. Contudo, esta abordagem simplista não contribui para a consolidação de uma indústria de semicondutores nacional \_ uma aspiração declarada nos planos plurianuais para a política de investimentos do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2006), que vislumbram esta como uma das cinco áreas estratégicas prioritárias para ações de fomento no setor \_ pois distancia os futuros engenheiros da atuação plena no desenvolvimento das tecnologias da informação vigentes e amplamente difundidas na sociedade moderna.

Países desenvolvidos costumam enxergar de outra maneira a questão da preparação de seus futuros engenheiros para lidar com a física de dispositivos semicondutores. Além de fomentar a contínua evolução dos estudantes nesta área, capacitando-os para o desenvolvimento de novos produtos que empregam alta tecnologia, é comum verificar a busca pela melhor maneira de propagar didaticamente este conhecimento, como se deduz de (MAZHARI & MAHAJAN, 2007) e (POTA, 2005).

## 2 METODOLOGIA

Na disciplina de Eletrônica Analógica, lecionada na UNIVASF, trabalha-se o emprego do conhecimento consolidado *a priori* das características elétricas dos dispositivos semicondutores (na instrumentação de sistemas) para aplicações precisas em sistemas mais complexos. Sob este argumento, as curvas e os parâmetros experimentais referentes a um LED (diodo emissor de luz), a um diodo retificador e a um diodo Zener, estimados em uma etapa preliminar de atividades experimentais, servem de base para o desenvolvimento do “projeto conceitual” de uma fonte regulada de tensão, em que o diodo de junção *pn* é utilizado na retificação do sinal *ac* da rede; o diodo Zener é empregado para regulação da tensão entregue à carga na saída; e o LED é empregado para indicação do status *on/off* da fonte.

### 2.1 Antecipação dos resultados apresentados no artigo

O desempenho de uma turma mista, composta por estudantes de Engenharia Elétrica e de Engenharia da Computação da UNIVASF \_ submetida à metodologia apresentada neste artigo ao cursar a disciplina Laboratório de Eletrônica Analógica no semestre 2011.1 \_ avaliado a partir da análise dos relatórios do projeto de uma fonte regulada de tensão confirmam a eficiência da estratégia adotada. O principal aspecto observado foi o da precisão, nas previsões das “figuras de mérito” do projeto, atestada a partir do registro nos gráficos dos valores instantâneos e médios de tensão e corrente fornecidas pela fonte regulada à carga de resistência variável (dimensionada apropriadamente para realização dos testes).

## 3 A DISCIPLINA DE ELETRÔNICA ANALÓGICA NA UNIVASF

A disciplina de Eletrônica Analógica compõe a classe de componentes curriculares de conteúdo essencial à formação dos futuros Engenheiros Eletricistas e Engenheiros da Computação da UNIVASF. Tais conteúdos são compostos pelo conjunto de conhecimentos comuns a todo estudante de Engenharia Elétrica e de Engenharia da Computação. Assuntos relacionados à formação profissional geral em Eletricidade, Circuitos Elétricos, Eletrônica, Eletromagnetismo, Comunicações, Materiais Elétricos, Conversão de Energia, Controle e Servomecanismos e Técnicas Digitais, dentre outros, são abordados no desenvolvimento da matéria.

Totalizando uma carga teórica de 60 horas/aula, a disciplina de Eletrônica Analógica é ministrada concomitantemente com a disciplina de Laboratório de Eletrônica Analógica. O Laboratório de Eletrônica Analógica é trabalhado em um total de 30 horas/aula de atividades práticas, nas quais os discentes têm a oportunidade de comprovar experimentalmente os conceitos apresentados na teoria. Alguns dos tópicos abordados nas disciplinas Eletrônica Analógica e Laboratório de Eletrônica Analógica são (UNIVASF, 2007), (UNIVASF, 2011):

- Análise de circuitos com diodos e circuitos retificadores;
- Circuitos amplificadores a MOSFET e a TBJ;
- Modelos para circuitos amplificadores de sinais;

- Amplificadores operacionais;
- Resposta em frequência.

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Dimensionamento dos componentes do sistema

O circuito eletrônico proposto para implementação de uma fonte de tensão *cc* de 5 V, empregando a caracterização prévia dos componentes semicondutores por parte dos alunos, é ilustrado na Figura 1 abaixo. A configuração é de *regulação paralela* (BOYLESTAD & NASHELSKY, 2007) empregando um diodo Zener de 4,7 V.

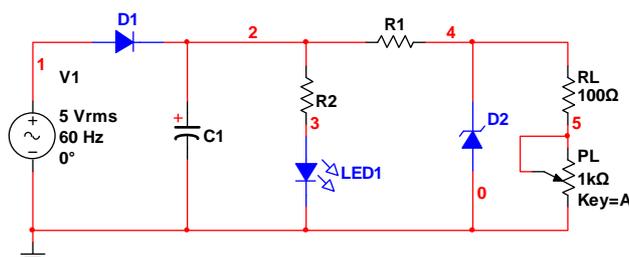


Figura 1. Circuito proposto para realização de uma fonte regulada de tensão: os diodos semicondutores utilizados (de junção *pn*, zener e LED) são dispositivos comerciais, caracterizados previamente.

O sinal alternado (5 *Vrms*, 60 Hz) é fornecido pelo *kit* didático (Scientech ST 2613, Nova Didacta®). Uma carga variável é simulada pela associação-série de um resistor de 100 Ω com um potenciômetro de 1 kΩ (corrente máxima na carga: ~50 mA). Os componentes *C1*, *R1* e *R2* devem ser dimensionados de acordo com requisitos de qualidade de produto e critérios técnicos de qualidade de sinal estabelecidos. Procedendo à estimativa da capacitância *C1* do filtro de entrada (Figura 2 a seguir), considera-se o “equivalente resistivo” (*Req*) da associação dos componentes à sua direita no circuito da Figura 1. Para tanto, supõe-se que o potencial nos terminais do capacitor não poderá decair em mais do que 10% do valor nominal da fonte, ou seja, que a amplitude de oscilação de *ripple* não excederá 500 mV. Com isso o nível *cc* de tensão sobre *C1* pode ser estimado (no pior caso) por:

$$V_C = V_s - V_D - \frac{\delta v_i}{2} \cong 6,12 \text{ volts}, \quad (1)$$

sendo *V<sub>s</sub>* a amplitude de pico do sinal de entrada, *V<sub>D</sub>* a queda de potencial entre os terminais do diodo retificador (*D1*, com supostamente ~0,7 V) e *δv<sub>i</sub>* a amplitude pico-a-pico do *ripple* de entrada (uma onda aproximadamente triangular, assimétrica). Durante um dado ciclo de descarga, *C1* deverá atender às demandas de corrente do LED (~20 mA), do Zener (~10 mA) e da carga (50 mA, no pior caso):

$$R_{eq} = V_C / I_T \cong 6,12/80\text{m} \approx 76,5 \Omega. \quad (2)$$

Portanto, a capacitância necessária será estimada por (SEDRA & SMITH, 2007):

$$C_1 = \frac{V_s - V_D}{f R_{eq} \delta v_i} \cong 2,8 \text{ mF}, \quad (3)$$

de modo que o valor adotado para a montagem foi 3 mF.

Com isso, as amplitudes de *ripple* nas condições extremas de carregamento da fonte podem ser prontamente estimadas:

$$\delta v_{i,MAX} \cong \frac{V_s - V_D}{f R_{eq,MIN} C_1} \cong 463 \text{ mV}; \quad \delta v_{i,MIN} \cong \frac{V_s - V_D}{f R_{eq,MAX} C_1} \cong 202 \text{ mV}. \quad (4)$$

Por medida de segurança, também foram estimadas a corrente média e a corrente máxima de pico em  $D1$  durante o ciclo de recarga de  $C1$ , para o pior caso (SEDRÁ & SMITH, 2007):

$$\bar{i}_{D1} = \left( 1 + \pi \sqrt{\frac{2(V_s - V_D)}{\delta v_i}} \right) I_T \cong 1,3 \text{ A}; \quad I_{D1,MAX} \cong 2 \bar{i}_{D1} \approx 2,6 \text{ A}. \quad (5)$$

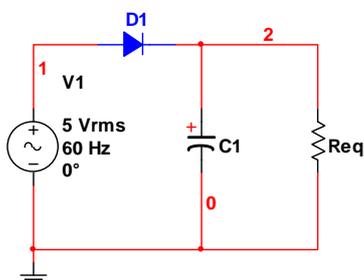


Figura 2. “Filtro equivalente” de entrada para dimensionamento de  $C1$ .

O limite superior para a resistência de passagem  $R1$  é estimado partindo do princípio de que o elemento regulador Zener precisa operar na sua região de ruptura, mesmo com a pior carga. Neste ponto que o conhecimento a priori da curva I-V dos dispositivos (LED e  $D2$ ) é útil.

Os parâmetros extraídos do processo de linearização por partes (SEDRÁ & SMITH, 2007) das características I-V do LED e do Zener são usados no circuito equivalente mostrado na Figura 3 a seguir. Neste modelo linear, a tensão na carga resulta da superposição dos efeitos das fontes idealizadas  $V_{Zo}$ ,  $V_{LEDo}$ ,  $V_I$  e  $\delta v_i$  (que representa o sinal de *ripple* presente no filtro de entrada) condicionados pelas resistências  $r_Z$ ,  $r_{LED}$ ,  $R1$  e  $R2$ .

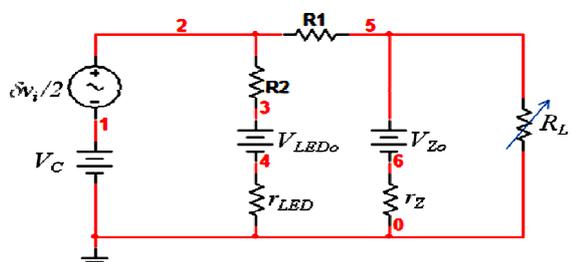


Figura 3. Modelo linear equivalente da fonte  $cc$ . A tensão na carga variável  $R_L'$  é obtida a partir da superposição dos efeitos das fontes  $V_{Zo}$ ,  $V_{LEDo}$ ,  $V_I$  e  $\delta v_i$ .

Desse modo estima-se, para o pior caso:

$$R_{1,MAX} \cong \frac{\left( V_c - \frac{\delta v_{i,MAX}}{2} \right) - V_{Z_0}}{I_{Z_k} + I_{L,MAX}} = \frac{\left( V_s - V_D - 2 \cdot \frac{\delta v_{i,MAX}}{2} \right) - V_{Z_0}}{I_{Z_k} + I_{L,MAX}} \approx 25 \Omega \quad (6)$$

onde  $I_{Z_k} \sim 1 \text{ mA}$  é a corrente crítica “de joelho” da curva do Zener no limiar de condução reversa. O resistor empregado na montagem é de  $22 \Omega$ .

Dispondo-se dos parâmetros da curva linearizada do LED, um limite superior para  $R_2$  poderá ser estimado por:

$$R_{2,MAX} \cong \frac{\left( V_c - \frac{\delta v_{i,MAX}}{2} \right) - V_{LED_0}}{I_{LED}} - r_{LED} \approx 390 \Omega \quad (7)$$

onde  $I_{LED} \sim 20 \text{ mA}$  é um valor crítico de referência para a corrente que garante uma intensidade de brilho mínima adequada.

## 4.2 Definição das figuras de mérito do projeto

Finalmente, para previsão teórica das “figuras de mérito” do projeto, o circuito equivalente de Thèvenin da Figura 3 (visto a partir dos terminais de saída) é utilizado para expressar a tensão fornecida pela fonte regulada em função da tensão no filtro de entrada e da corrente drenada pela carga (SEDRA & SMITH, 2007):

$$v_o \cong V_o + \frac{\delta v_o}{2} = \frac{R_1}{r_z + R_1} V_{Z_0} + \frac{r_z}{r_z + R_1} \left( V_c + \frac{\delta v_i}{2} \right) - \frac{r_z R_1}{r_z + R_1} i_L \quad (8)$$

O conhecimento *a priori* dos modelos linearizados dos diodos viabilizará uma previsão teórica precisa do desempenho da fonte. Os requisitos e critérios técnicos de qualidade de sinal são as “figuras de mérito” usuais em projetos de fontes reguladas, tais como (SEDRA & SMITH, 2007):

- Nível *cc* da tensão de saída:  $V_o \pm \Delta V_o$
- Potência consumida sem carga:  $P_{OL}$
- Ondulação de *ripple* na entrada:  $\delta v_i$
- Razão de rejeição de *ripple*:  $R_{rr}$
- Regulação de linha:  $Reg_L$
- Regulação de carga:  $Reg_C$

Para os propósitos deste trabalho, define-se:

- *Razão de rejeição de ripple* ( $R_{rr}$ ) como sendo a relação entre as amplitudes das oscilações periódicas da tensão de saída (na carga) e da tensão retificada de entrada (no filtro capacitivo):

$$R_{rr} \cong \frac{\delta v_o}{\delta v_i} = \frac{r_z R_L}{(r_z + R_1) R_L + r_z R_1} \quad (9)$$

- *Regulação de linha* ( $R_{regL}$ ) como sendo a relação entre as flutuações aleatórias do nível *cc* da tensão de saída (na carga), e as flutuações casuais da amplitude do sinal de entrada (da rede pública), supondo a corrente na carga constante:

$$R_{regL} \equiv \frac{\Delta V_o}{\Delta V_s} = \frac{r_z}{r_z + R_1} \quad (10)$$

- *Regulação de carga* ( $R_{regC}$ ) como sendo a relação entre a variação no nível *cc* da tensão de saída da fonte e a variação do nível *cc* da corrente fornecida por ela à carga, decorrente da variação do valor da resistência da carga, supondo a amplitude do sinal da rede pública constante:

$$R_{regC} \equiv \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} = \frac{-r_z R_1}{r_z + R_1} \quad (11)$$

Quando  $r_z \ll R_1$  e  $r_z \ll R_L$  tem-se que

$$R_{rr} \cong R_{regL} \cong \frac{r_z}{R_1} \quad (12)$$

muito embora  $R_{rr}$  diga respeito a oscilações periódicas da tensão de saída, enquanto  $R_{regL}$  seja definida em termos de flutuações do nível *cc* da tensão de saída, supostamente aleatórias e suaves ao longo do tempo. A coincidência é devida à natureza puramente resistiva da carga em questão.

## 5 PROCEDIMENTOS

### 5.1 Avaliação das “figuras de mérito” do projeto

Dispondo-se das curvas características que registram o comportamento exato, não-linear, dos diodos semicondutores empregados no projeto da fonte regulada, é possível proceder de modo consistente à análise precisa do circuito da Figura 1. A finalidade dos procedimentos desta que seria a segunda aula prática é: verificar a consistência e a precisão da teoria na previsão do comportamento conjunto dos dispositivos semicondutores no sistema integrado que compõe a fonte regulada de tensão.

Observando o circuito (Figura 1), nota-se que o desempenho da fonte regulada depende do dimensionamento adequado dos componentes  $C_1$ ,  $R_1$  e  $R_2$  para que os diodos funcionem em pontos de operação ótimos sobre suas respectivas curvas características  $I-V$ . O fato complicador do projeto, contudo, a ser explorado na avaliação do desempenho, é a considerável variabilidade da resistência de carga ( $100 \Omega - 1,1 k\Omega$ ), pois o valor desta também tem impacto direto na determinação dos pontos de operação dos dispositivos não-lineares.

Conhecendo-se as características  $I-V$  dos diodos *a priori*, as mudanças provocadas pela variação da carga serão previsíveis, de modo que o desempenho da fonte pode ser estimado com precisão, ainda na fase teórica do projeto, para confronto com as verificações

experimentais na fase da caracterização do sistema, nos termos das “figuras de mérito” definidas anteriormente na seção 4.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Análise das formas de onda

Os dispositivos semicondutores utilizados foram parametrizados conforme relacionado na Tabela 1, para definição dos modelos aproximados empregados no projeto da fonte regulada de tensão *cc* de 5 Volts esquematizada na Figura 1. Estes valores são resultantes da caracterização prévia dos dispositivos semicondutores empregados na montagem.

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos lineares aproximados.

Dispositivo	Limiar de condução (V)	Resist. Dinâmica (Ω)
Retificador	0,6	22,6
Zener	4,5	35,4
LED	1,9	22,5

O objetivo é justificar a performance da fonte em termos do comportamento da tensão de saída  $V_o$ , a partir da medição das “figuras de mérito” estimadas com base nos parâmetros dos modelos empregados nas previsões teóricas, para as condições extremas de carregamento quando  $R_L = 100 \Omega$  (carga máxima) e  $R_L = 1,1 k\Omega$  (carga mínima). O limite superior de  $R_2$  é estimado considerando os parâmetros listados para o LED, a partir da Eq. (7), em que resistor empregado possui o mesmo valor ( $390 \Omega$ ).

Uma vez que todos os componentes e os parâmetros do modelo linear aproximado (vide Figura 3), equivalente ao circuito proposto para a realização da fonte regulada de tensão esboçado na Figura 1, estejam estimados *a priori*, todas as “figuras de mérito” do projeto podem ser previstas antecipadamente à verificação experimental.

Assim,

- Nível *cc* da tensão de saída:

$$V_{o,MIN} = \frac{R_1}{r_z + R_1} V_{z_0} + \frac{r_z}{r_z + R_1} V_{C,MIN} - \frac{r_z R_1}{r_z + R_1} I_{L,MAX} \approx 4,8 \text{ volts}$$

$$V_{o,MAX} = \frac{R_1}{r_z + R_1} V_{z_0} + \frac{r_z}{r_z + R_1} V_{C,MAX} - \frac{r_z R_1}{r_z + R_1} I_{L,MIN} \approx 5,3 \text{ volts}$$

$$\Delta V_o = \frac{r_z}{r_z + R_1} \Delta V_c - \frac{r_z R_1}{r_z + R_1} \Delta I_L \approx 0,5 \text{ volts}$$

- Potência consumida sem carga:
- Ondulação de *ripple* na entrada:

$$P_{OL} \cong R_1 I_{Z,MAX} + R_2 I_{LED} \approx 8,6 \text{ Watts}$$

$$\delta v_{i,MIN} \cong \frac{V_s - V_D}{f R_{eq,MAX} C_1} \cong 202 \text{ mV}$$

$$\delta v_{i,MAX} \cong \frac{V_s - V_D}{f R_{eq,MIN} C_1} \cong 463 \text{ mV}$$

- Razão de rejeição de *ripple*:

$$R_{rr,MIN} \cong \frac{\delta v_o}{\delta v_i} \Big|_{R_{L,MIN}} \cong \frac{r_z R_{L,MIN}}{(r_z + R_1) R_{L,MIN} + r_z R_1} \approx 430 \text{ mV/V} \quad R_{rr,MAX} \cong \frac{\delta v_o}{\delta v_i} \Big|_{R_{L,MAX}} \cong \frac{r_z R_{L,MAX}}{(r_z + R_1) R_{L,MAX} + r_z R_1} \approx 470 \text{ mV/V}$$

- Regulação de linha e de carga:

$$R_{regL} \cong \frac{\Delta V_o}{\Delta V_s} \cong \frac{\Delta V_o}{\Delta V_C} \Big|_{\Delta I_L=0} = \frac{r_z}{r_z + R_1} \approx 476 \text{ mV/V}$$

$$R_{regC} \cong \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} \cong \frac{\Delta V_o}{\Delta I_L} \Big|_{\Delta V_C=0} = \frac{-r_z R_1}{r_z + R_1} \approx -10,5 \text{ mV/mA}$$

As formas de onda (observadas com auxílio de um osciloscópio) no filtro de entrada e nos terminais de saída, com a carga assumindo os seus valores extremos, estão mostradas nas imagens colhidas *in loco* durante a realização dos procedimentos práticos em laboratório (Figuras 4 e 5 a seguir).

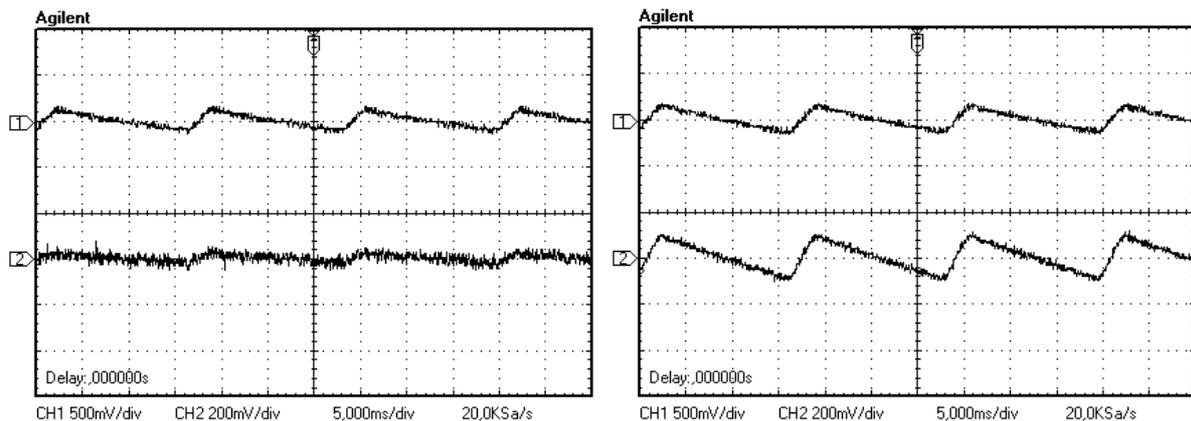


Figura 4. **À esquerda:** formas de onda observadas com o emprego de um osciloscópio digital, nos terminais do filtro (acima) e de saída da fonte (abaixo) na condição de carga mínima ( $R_L' = 1,1 \text{ k}\Omega$ ) conectada; **À direita:** formas de onda observadas nos terminais do filtro (acima) e de saída da fonte (abaixo) na condição de carga máxima ( $R_L' = 100\Omega$ ) conectada.

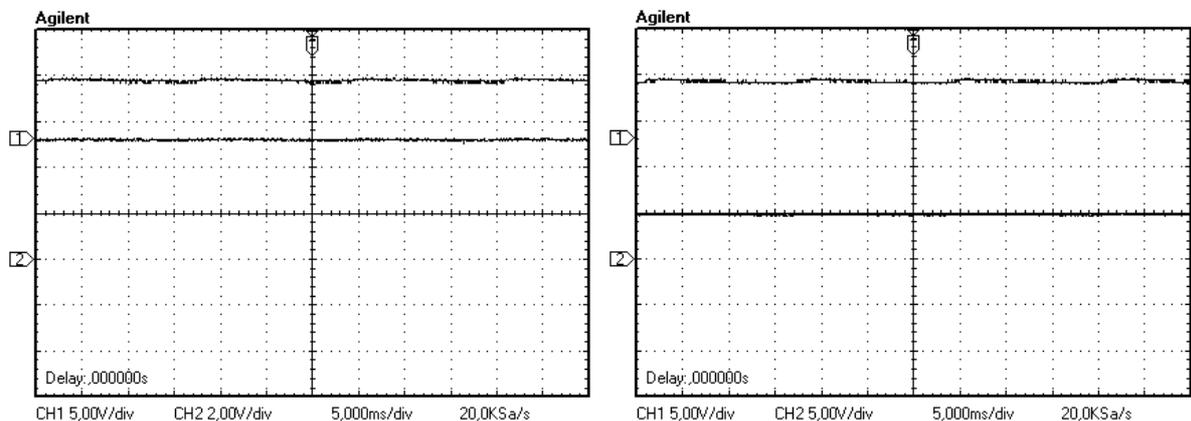


Figura 5. **À esquerda:** níveis de tensão  $cc$  nos terminais do filtro (acima) e de saída da fonte (abaixo) na condição de carga mínima ( $R_L' = 1,1 k \Omega$ ) conectada; **À direita:** níveis de tensão  $cc$  nos terminais do filtro (acima) e de saída da fonte (abaixo) na condição de carga máxima ( $R_L' = 100 \Omega$ ) conectada.

## 7 DISCUSSÕES

Diferentemente da etapa preliminar de aquisição dos pontos das características  $I-V$ , em que o objetivo maior é a sensibilização dos estudantes quanto às implicações do comportamento não-linear dos componentes para o desempenho de um circuito, a motivação maior para a etapa de projeto da fonte  $cc$  regulada (proposta na Figura 1) é convencer o mesmo público-alvo da validade das aproximações lineares mais simples para a previsibilidade do comportamento de um circuito mais complexo. Agora a análise das formas de onda observadas no filtro de entrada e nos terminais de saída, sob as diferentes condições de carregamento, é o que atesta a aderência das “figuras de mérito” do projeto às previsões teóricas da seção 6. É importante destacar que tais previsões, por sua vez, são fundamentadas nos valores estimados dos parâmetros dos modelos lineares equivalentes dos diodos, executados previamente pelos estudantes. A Eq. 8 mostra que a dependência da tensão de saída com os parâmetros do Zener ( $r_z$  e  $V_{zo}$ ) é explícita, como esperado na abordagem convencional desse projeto (BOYLESTAD & NASHELSKY, 2007) mas há também uma dependência com os parâmetros dos modelos do diodo retificador e do LED implícita no nível de tensão  $cc$  no filtro ( $V_C$ ) e na amplitude da oscilação de *ripple* ( $\delta v_i$ ). O efeito desses últimos não seria equacionado na abordagem clássica, muito embora seja claramente evidenciado na forma de onda de saída para condições adversas de carregamento (Figura 4). Os parâmetros do modelo equivalente do LED ( $r_{LED}$  e  $V_{LED0}$ ) são usados na definição da resistência de polarização  $R_2$ , juntamente com a queda de potencial ao longo do diodo retificador ( $V_D$ ) que compõe o nível  $cc$  no filtro, conforme a restrição estabelecida na Eq.7. A queda de potencial  $V_D$  também tem impacto na definição da resistência de passagem  $R_1$ , conforme Eq.6. As duas resistências determinam, juntamente com a resistência da carga, a corrente total ( $I_T$ ) a ser suprida no ciclo de descarga do capacitor, determinando, portanto, as amplitudes de *ripple* no filtro de entrada segundo a Eq.4. Os esforços empreendidos nos equacionamentos são justificados ao comparar as amplitudes de *ripple* registradas nas formas de onda (Figura 4), bem como os níveis  $cc$  no filtro e na carga (Figura 5), com as previsões teóricas feitas *a priori* com base nos modelos equivalentes lineares.

## 8 CONCLUSÕES

A adoção das atividades experimentais citadas neste artigo visa oferecer ao estudante uma maior percepção das aplicações das características de dispositivos semicondutores. Muitos aspectos conceituais são empregados para se obter a aquisição dos pontos das curvas  $I-V$  dos dispositivos. Princípios e teoremas importantes da teoria (a exemplo dos teoremas da superposição e de Thévenin) foram verificados no circuito complexo proposto na Figura 1, que é essencialmente não-linear pela presença expressiva de componentes semicondutores desempenhando funções-chave no sistema. Subliminarmente são apresentados os conceitos relacionados às “figuras de mérito” de um projeto de fonte de tensão  $cc$ , uma temática recorrente e sempre atual, capaz de despertar o interesse de discentes de ambos os perfis profissionais em foco. Não por acaso trata-se do projeto de uma fonte de  $5 V_{cc}$ . Fontes com essa especificação são essenciais, por exemplo, em sistemas eletrônicos digitais empregados em processamento de sinais lógicos para controle de processos produtivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYLESTAD, R.L., NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.

MAZHARI, B., MAHAJAN, A. An Improved Interpretation of Depletion Approximation in p-n-Junctions. IEEE Transactions on Education, Vol. 47, Nº 4, Novembro 2007.

POTA, H.R. A New Derivation of the Law of the Junctions. IEEE Transactions on Education, Vol. 48, Nº 1, Fevereiro 2005.

UNIVASF. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Vale do São Francisco.** 06 Abril 2011. Disponível em <http://www.univasf.edu.br/~ccomp/arquivos/ppc.pdf>, acessado em Junho 2011.

UNIVASF. **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Vale do São Francisco.** 2008. Disponível em [http://www.graduacao.univasf.edu.br/eletrica/arquivos/Projeto\\_Pedagogico\\_do\\_curso\\_de\\_Engenharia\\_Eletrica.pdf](http://www.graduacao.univasf.edu.br/eletrica/arquivos/Projeto_Pedagogico_do_curso_de_Engenharia_Eletrica.pdf), acessado em Junho 2011.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). Ciência, Tecnologia e Inovação para o Desenvolvimento Nacional – Plano de Ação 2007-2010.

SEDRA, A.S., SMITH, K.C. Microeletrônica. 5ª edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2007.

## SEMICONDUCTOR DEVICES IN ANALOG ELECTRONICS BY MEANS OF AN ALTERNATIVE DESIGN STRATEGY FOR SOURCES

**Abstract:** *Verification of basic concepts on semiconductor theory in practical lessons can offer to students the ability to conceive devices with actual technological appeal in Analog Electronics achieving pre-established quality specifications. This paper shows how the knowledge on semiconductor devices characteristics can lead to the implementation of a voltage source, leading to positive results in the construction of competences in Electrical and Computer Engineering.*

**Key-words:** *Semiconductor diodes, voltage sources, education-oriented projects.*