



**Manual do Professor – Eletrônica Básica**

# Manual do Professor

## 1. Introdução

Por muito tempo, a educação profissional foi desprezada e considerada de segunda classe. Atualmente, a opção pela formação técnica é festejada, pois alia os conhecimentos do “saber fazer” com a formação geral do “conhecer” e do “saber ser”; é a formação integral do estudante.

Este livro didático é mais uma ferramenta para a formação integral, pois alia o instrumental para aplicação prática com as bases científicas e tecnológicas, ou seja, permite aplicar a ciência em soluções do dia a dia.

Além do livro, compõe esta formação do técnico o preparo do professor, as práticas laboratoriais, o estágio, a visita técnica e outras atividades inerentes a cada plano de curso. Dessa forma, o livro, com sua estruturação pedagógica elaborada, é uma ferramenta altamente relevante, pois é fio condutor dessas atividades formativas.

Ele está contextualizado com a realidade, as necessidades do mundo do trabalho, os arranjos produtivos, o interesse da inclusão social e a aplicação cotidiana. Essa contextualização elimina a dicotomia entre atividade intelectual e atividade manual, pois não só prepara o profissional para trabalhar em atividades produtivas, mas também com conhecimentos e atitudes, com vistas à atuação política na sociedade. Afinal, é desejo de todo educador formar cidadãos produtivos.

Outro valor pedagógico acompanha esta obra: o fortalecimento mútuo da formação geral e da formação específica (técnica). O Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) tem demonstrado que os alunos que estudam em um curso técnico tiram melhores notas, pois ao estudar para resolver um problema prático ele aprimora os conhecimentos da formação geral (química, física, matemática, etc.); e ao contrário, quando estudam uma disciplina geral passam a aprimorar possibilidades da parte técnica.

Pretendemos contribuir para resolver o problema do desemprego, preparando os alunos para atuar na área científica, industrial, de transações e comercial, conforme seu interesse. Por outro lado, preparamos os alunos para ser independentes no processo formativo, permitindo que trabalhem durante parte do dia no comércio ou na indústria e prossigam em seus estudos superiores no contraturno. Dessa forma, podem constituir seu itinerário formativo e, ao concluir um curso superior, serão robustamente formados em relação a outros, que não tiveram a oportunidade de realizar um curso técnico.

Por fim, este livro pretende ser útil para a economia brasileira, aprimorando nossa força produtiva ao mesmo tempo em que dispensa a importação de técnicos estrangeiros para atender às demandas da nossa economia.

## 1.1 Por que a Formação Técnica de Nível Médio É Importante?

O técnico desempenha papel vital no desenvolvimento do país por meio da criação de recursos humanos qualificados, aumento da produtividade industrial e melhoria da qualidade de vida.

Alguns benefícios do ensino profissionalizante para o formando:

- Aumento dos salários em comparação com aqueles que têm apenas o Ensino Médio;
- Maior estabilidade no emprego;
- Maior rapidez para adentrar ao mercado de trabalho;
- Facilidade em conciliar trabalho e estudos;
- Mais de 72% ao se formarem estão empregados;
- Mais de 65% dos concluintes passam a trabalhar naquilo que gostam e em que se formaram.

Esses dados são oriundos de pesquisas. Uma delas, intitulada “Educação profissional e você no mercado de trabalho”, realizada pela Fundação Getúlio Vargas e o Instituto Votorantim, comprova o acerto do Governo ao colocar, entre os quatro eixos do Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE), investimentos para a popularização da Educação Profissional. Para as empresas, os cursos oferecidos pelas escolas profissionais atendem de forma mais eficiente às diferentes necessidades dos negócios.

Outra pesquisa, feita em 2009 pela Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (Setec), órgão do Ministério da Educação (MEC), chamada “Pesquisa nacional de egressos”, revelou também que de cada dez alunos, seis recebem salário na média da categoria. O percentual dos que qualificaram a formação recebida como “boa” e “ótima” foi de 90%.

## 2. Ensino Profissionalizante no Brasil e Necessidade do Livro Didático Técnico

O Decreto Federal nº 5.154/2004 estabelece inúmeras possibilidades de combinar a formação geral com a formação técnica específica. Os cursos técnicos podem ser ofertados da seguinte forma:

- a) **Integrado** – ao mesmo tempo em que estuda disciplinas de formação geral o aluno também recebe conteúdos da parte técnica, na mesma escola e no mesmo turno.
- b) **Concomitante** – num turno o aluno estuda numa escola que só oferece Ensino Médio e num outro turno ou escola recebe a formação técnica.
- c) **Subsequente** – o aluno só vai para as aulas técnicas, no caso de já ter concluído o Ensino Médio.

Com o Decreto Federal nº 5.840/2006, foi criado o programa de profissionalização para a modalidade Jovens e Adultos (Proeja) em Nível Médio, que é uma variante da forma integrada.

Em 2008, após ser aprovado pelo Conselho Nacional de Educação pelo Parecer CNE/CEB nº 11/2008, foi lançado o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos, com o fim de orientar a oferta desses cursos em nível nacional.

O Catálogo consolidou diversas nomenclaturas em 185 denominações de cursos. Estes estão organizados em 12 eixos tecnológicos, a saber:

1. Ambiente, Saúde e Segurança
2. Apoio Educacional
3. Controle e Processos Industriais
4. Gestão e Negócios
5. Hospitalidade e Lazer
6. Informação e Comunicação
7. Infraestrutura
8. Militar
9. Produção Alimentícia
10. Produção Cultural e *Design*
11. Produção Industrial
12. Recursos Naturais.

Para cada curso, o Catálogo estabelece **carga horária** mínima para a parte técnica (de 800 a 1 200 horas), **perfil** profissional, **possibilidades de temas a serem abordados** na formação, **possibilidades de atuação** e **infraestrutura recomendada** para realização do curso. Com isso, passa a ser

um mecanismo de organização e orientação da oferta nacional e tem função indutora ao destacar novas ofertas em nichos tecnológicos, culturais, ambientais e produtivos, para formação do técnico de Nível Médio.

Dessa forma, passamos a ter no Brasil uma nova estruturação legal para a oferta destes cursos. Ao mesmo tempo, os governos federal e estaduais passaram a investir em novas escolas técnicas, aumentando a oferta de vagas. Dados divulgados pelo Ministério da Educação apontaram que o número de alunos na educação profissionalizante passou de 693 mil em 2007 para 795 mil em 2008 – um crescimento de 14,7%. A demanda por vagas em cursos técnicos tem tendência para aumentar, tanto devido à nova importância social e legal dada a esses cursos, como também pelo crescimento do Brasil.

### COMPARAÇÃO DE MATRÍCULAS BRASIL

Comparação de Matrículas da Educação Básica por Etapa e Modalidade – Brasil, 2007 e 2008.

Etapas/Modalidades de Educação Básica	Matrículas / Ano			
	2007	2008	Diferença 2007-2008	Varição 2007-2008
Educação Básica	53.028.928	53.232.868	203.940	0,4
Educação Infantil	6.509.868	6.719.261	209.393	3,2
• Creche	1.579.581	1.751.736	172.155	10,9
• Pré-escola	4.930.287	4.967.525	37.238	0,8
Ensino Fundamental	32.122.273	32.086.700	-35.573	-0,1
Ensino Médio	8.369.369	8.366.100	-3.269	0,0
Educação Profissional	693.610	795.459	101.849	14,7
Educação Especial	348.470	319.924	-28.546	-8,2
EJA	4.985.338	4.945.424	-39.914	-0,8
• Ensino Fundamental	3.367.032	3.295.240	-71.792	-2,1
• Ensino Médio	1.618.306	1.650.184	31.878	2,0

Fonte: Adaptado de: MEC/Inep/Deed.

No aspecto econômico, há necessidade de expandir a oferta desse tipo de curso, cujo principal objetivo é formar o aluno para atuar no mercado de trabalho, já que falta trabalhador ou pessoa qualificada para assumir imediatamente as vagas disponíveis. Por conta disso, muitas empresas têm que arcar com o treinamento de seus funcionários, treinamento esse que não dá ao funcionário um diploma, ou seja, não é formalmente reconhecido.

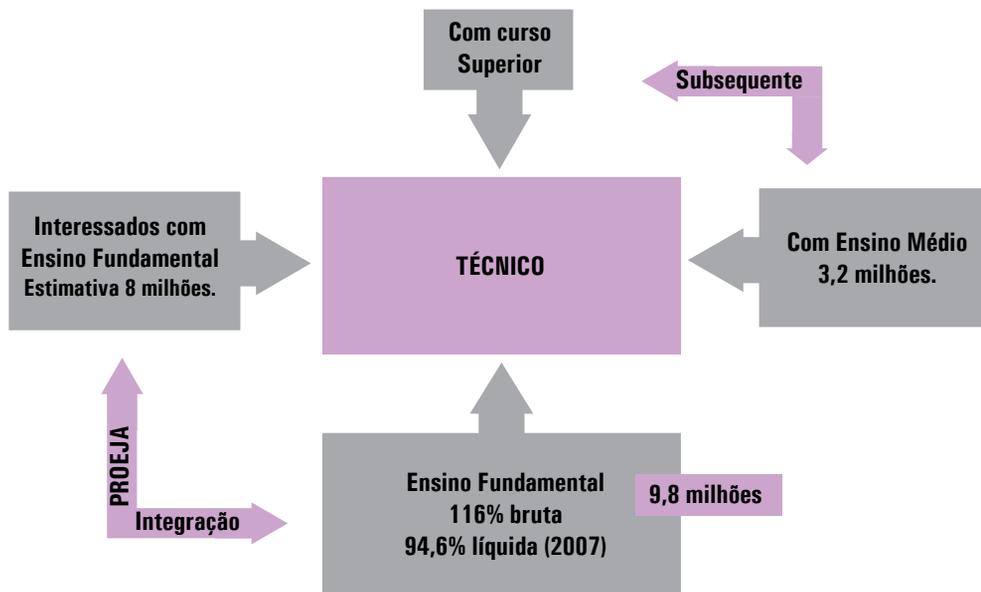
Para atender à demanda do setor produtivo e satisfazer a procura dos estudantes, seria necessário mais que triplicar as vagas técnicas existentes hoje.

Outro fator que determina a busca pelo ensino técnico é ser este uma boa opção de formação secundária para um grupo cada vez maior de estudantes. Parte dos concluintes do Ensino Médio (59% pelo Censo Inep, 2004), por diversos fatores, não buscam o curso superior. Associa-se a isso a escolarização líquida do Ensino Fundamental, que está próxima de 95%, e a escolarização bruta em 116% (Inep, 2007), mostrando uma pressão de entrada no Ensino Médio, pelo fluxo quase regular dos que o concluem.

A **escolarização líquida** do Ensino Médio em 2009 foi de 53%, enquanto a bruta foi de 84% (Inep, 2009), o que gera um excedente de alunos para esta etapa.

**Escolarização líquida** é a relação entre a população na faixa de idade própria para a escola e o número de matriculados da faixa. Escolarização bruta é a relação entre a população na faixa adequada para o nível escolar e o total de matriculados, independente da idade.

Atualmente, o número de matriculados no Ensino Médio está em torno de 9 milhões de estudantes. Se considerarmos o esquema a seguir, concluímos que em breve devemos dobrar a oferta de Nível Médio, pois há 9,8 milhões de alunos com fluxo regular do Fundamental, 8 milhões no excedente e 3,2 milhões que possuem o Ensino Médio, mas não têm interesse em cursar o Ensino Superior. Além disso, há os que possuem curso superior, mas buscam um curso técnico como complemento da formação.



A experiência internacional tem mostrado que 30% das matrículas da educação secundária correspondem a cursos técnicos; este é o patamar idealizado pelo Ministério da Educação. Se hoje há 795 mil estudantes matriculados, para atingir essa porcentagem devemos matricular pelo menos três milhões de estudantes em cursos técnicos dentro de cinco anos.

Para cada situação pode ser adotada uma modalidade ou forma de Ensino Médio profissionalizante, de forma a atender a demanda crescente. Para os advindos do fluxo regular do Ensino Fundamental, por exemplo, é recomendado o curso técnico integrado ao Ensino Médio. Para aqueles que não tiveram a oportunidade de cursar o Ensino Médio, a oferta do PROEJA estimularia sua volta ao ensino secundário, pois o programa está associado à formação profissional. Além disso, o PROEJA considera os conhecimentos adquiridos na vida e no trabalho, diminuindo a carga de formação geral e privilegiando a formação específica. Já para aqueles que possuem o Ensino Médio ou Superior a modalidade recomendada é a subsequente: somente a formação técnica específica.

Para todos eles, com ligeiras adaptações metodológicas e de abordagem do professor, é extremamente útil o uso do livro didático técnico, para maior eficácia da hora/aula do curso, não importando a modalidade do curso e como será ofertado.

Além disso, o conteúdo deste livro didático técnico e a forma como foi concebido reforça a formação geral, pois está contextualizado com a prática social do estudante e relaciona permanentemente os conhecimentos da ciência, implicando na melhoria da qualidade da formação geral e das demais disciplinas do Ensino Médio.

Em resumo, há claramente uma nova perspectiva para a formação técnica com base em sua crescente valorização social, na demanda da economia, no aprimoramento de sua regulação e como opção para enfrentar a crise de qualidade e quantidade do Ensino Médio.

### 3. O Que É Educação Profissionalizante?

O ensino profissional prepara os alunos para carreiras que estão baseadas em atividades mais práticas. O ensino é menos acadêmico, contudo diretamente relacionado com a inovação tecnológica e os novos modos de organização da produção, por isso a escolarização é imprescindível nesse processo.

### 4. Elaboração dos Livros Didáticos Técnicos

Devido ao fato do ensino técnico e profissionalizante ter sido renegado a segundo plano por muitos anos, a bibliografia para diversas áreas é praticamente inexistente. Muitos docentes se veem obrigados a utilizar e adaptar livros que foram escritos para a graduação. Estes compêndios, às vezes traduções de livros estrangeiros, são usados para vários cursos superiores. Por serem inacessíveis à maioria dos alunos por conta de seu custo, é comum que professores preparem apostilas a partir de alguns de seus capítulos.

Tal problema é agravado quando falamos do Ensino Técnico integrado ao Médio, cujos alunos correspondem à faixa etária entre 14 e 19 anos, em média. Para esta faixa etária é preciso de linguagem e abordagem diferenciadas, para que aprender deixe de ser um simples ato de memorização e ensinar signifique mais do que repassar conteúdos prontos.

Outro público importante corresponde àqueles alunos que estão afastados das salas de aula há muitos anos e veem no ensino técnico uma oportunidade de retomar os estudos e ingressar no mercado profissional.

### 5. O Livro Didático Técnico e o Processo de Avaliação

O termo avaliar tem sido constantemente associado a expressões como: realizar prova, fazer exame, atribuir notas, repetir ou passar de ano. Nela a educação é concebida como mera transmissão e memorização de informações prontas e o aluno é visto como um ser passivo e receptivo.

Avaliação educacional é necessária para fins de documentação, geralmente para embasar objetivamente a decisão do professor ou da escola, para fins de progressão do aluno.

O termo avaliação deriva da palavra valer, que vem do latim *vālêre*, e refere-se a ter valor, ser válido. Conseqüentemente, um processo de avaliação tem por objetivo averiguar o "valor" de determinado indivíduo.

Mas precisamos ir além.

A avaliação deve ser aplicada como instrumento de compreensão do nível de aprendizagem dos alunos em relação aos conceitos estudados (conhecimento), em relação ao desenvolvimento de criatividade, iniciativa, dedicação e princípios éticos (atitude) e ao processo de ação prática com eficiência e eficácia (habilidades). Este livro didático ajuda, sobretudo para o processo do conhecimento e também como guia para o desenvolvimento de atitudes. As habilidades, em geral, estão associadas a práticas laboratoriais, atividades complementares e estágios.

A avaliação é um ato que necessita ser contínuo, pois o processo de construção de conhecimentos pode oferecer muitos subsídios ao educador para perceber os avanços e dificuldades dos educandos e, assim, rever a sua prática e redirecionar as suas ações, se necessário. Em cada etapa registros são feitos. São os registros feitos ao longo do processo educativo, tendo em vista a compreensão e a descrição dos desempenhos das aprendizagens dos estudantes, com possíveis demandas de intervenções, que caracterizam o processo avaliativo, formalizando, para efeito legal, os progressos obtidos.

Neste processo de aprendizagem deve-se manter a interação entre professor e aluno, promovendo o conhecimento participativo, coletivo e construtivo. A avaliação deve ser um processo natural que acontece para que o professor tenha uma noção dos conteúdos assimilados pelos alunos, bem como saber se as metodologias de ensino adotadas por ele estão surtindo efeito na aprendizagem dos alunos.

Avaliação deve ser um processo que ocorre dia após dia, visando à correção de erros e encaminhando o aluno para aquisição dos objetivos previstos. A esta correção de rumos, nós chamamos de avaliação formativa, pois serve para retomar o processo de ensino/aprendizagem, mas com novos enfoques, métodos e materiais. Ao usar diversos tipos de avaliações combinadas para fim de retroalimentar o ensinar/aprender, de forma dinâmica, concluímos que se trata de um “processo de avaliação”.

O resultado da avaliação deve permitir que o professor e o aluno dialoguem, buscando encontrar e corrigir possíveis erros, redirecionando o aluno e mantendo a motivação para o progresso do educando, sugerindo a ele novas formas de estudo para melhor compreensão dos assuntos abordados.

Se ao fazer avaliações contínuas, percebermos que um aluno tem dificuldade em assimilar conhecimentos, atitudes e habilidades, então devemos mudar o rumo das coisas. Quem sabe fazer um reforço da aula, com uma nova abordagem ou com outro colega professor, em um horário alternativo, podendo ser em grupo ou só, assim por diante. Pode ser ainda que a aprendizagem daquele tema seja facilitada ao aluno fazendo práticas discursivas, escrever textos, uso de ensaios no laboratório, chegando a conclusão que este aluno necessita de um processo de ensino/aprendizagem que envolva ouvir, escrever, falar e até mesmo praticar o tema.

Se isso acontecer, a avaliação efetivamente é formativa.

Neste caso, a avaliação está integrada ao processo de ensino/aprendizagem, e esta, por sua vez, deve envolver o aluno, ter um significado com o seu contexto, para que realmente aconteça. Como a aprendizagem se faz em processo, ela precisa ser acompanhada de retornos avaliativos visando a fornecer os dados para eventuais correções.

Para o uso adequado deste livro recomendamos utilizar diversos tipos de avaliações, cada qual com pesos e frequências de acordo com perfil de docência de cada professor. Podem ser usadas as tradicionais provas e testes, mas, procurar fugir de sua soberania, mesclando com outras criativas formas.



## 5.1 Avaliação e Progressão

Para efeito de progressão do aluno, o docente deve sempre considerar os avanços alcançados ao longo do processo e perguntar-se: Este aluno progrediu em relação ao seu patamar anterior? Este aluno progrediu em relação às primeiras avaliações? Respondidas estas questões, volta a perguntar-se: Este aluno apresentou progresso suficiente para acompanhar a próxima etapa? Com isso o professor e a escola podem embasar o deferimento da progressão do estudante.

Com isso, superamos a antiga avaliação conformadora em que eram exigidos padrões iguais para todos os “formandos”.

Nossa proposta significa, conceitualmente, que ao estudante é dado o direito, pela avaliação, de verificar se deu um passo a mais em relação às suas competências. Os diversos estudantes terão desenvolvimentos diferenciados, medidos por um processo avaliativo que incorpora esta possibilidade. Aqueles que acrescentaram progresso em seus conhecimentos, atitudes e habilidades estarão aptos a progredir.

A base para a progressão, neste caso, é o próprio aluno.

Todos têm o direito de dar um passo a mais. Pois um bom processo de avaliação oportuniza justiça, transparência e qualidade.

## 5.2 Tipos de Avaliação

Existem inúmeras técnicas avaliativas, não existe uma mais adequada, o importante é que o docente conheça várias técnicas para poder ter um conjunto de ferramentas a seu dispor e escolher a mais adequada dependendo da turma, faixa etária, perfil entre outros fatores.

Avaliação se torna ainda mais relevante quando os alunos se envolvem na sua própria avaliação.

A avaliação pode incluir:

1. Observação
2. Ensaios
3. Entrevistas
4. Desempenho nas tarefas
5. Exposições e demonstrações
6. Seminários
7. Portfólio: Conjunto organizado de trabalhos produzidos por um aluno ao longo de um período de tempo.
8. Elaboração de jornais e revistas (físicos e digitais)
9. Elaboração de projetos
10. Simulações
11. O pré-teste
12. A avaliação objetiva
13. A avaliação subjetiva
14. Autoavaliação
15. Autoavaliação de dedicação e desempenho
16. Avaliações interativas

17. Prática de exames

18. Participação em sala de aula

19. Participação em atividades

20. Avaliação em conselho pedagógico – que inclui reunião para avaliação discente pelo grupo de professores.

No livro didático as “atividades”, as “dicas” e outras informações destacadas poderão resultar em avaliação de atitude, quando cobrado pelo professor em relação ao “desempenho nas tarefas”. Poderão resultar em avaliações semanais de autoavaliação de desempenho se cobrado oralmente pelo professor para o aluno perante a turma.

Enfim, o livro didático, possibilita ao professor extenuar sua criatividade em prol de um processo avaliativo retroalimentador ao processo ensino/aprendizagem para o desenvolvimento máximo das competências do aluno.

## 6. Objetivos da Obra

Além de atender às peculiaridades citadas anteriormente, este livro está de acordo com o Catálogo Nacional de Cursos Técnicos. Busca o desenvolvimento das habilidades por meio da construção de atividades práticas, fugindo da abordagem tradicional de descontextualizado acúmulo de informações. Está voltado para um ensino contextualizado, mais dinâmico e com o suporte da interdisciplinaridade. Visa também à ressignificação do espaço escolar, tornando-o vivo, repleto de interações práticas, aberto ao real e às suas múltiplas dimensões.

Ele está organizado em capítulos, graduando as dificuldades, numa linha da lógica de aprendizagem passo a passo. No final dos capítulos, há exercícios e atividades complementares, úteis e necessárias para o aluno descobrir, fixar, e aprofundar os conhecimentos e as práticas desenvolvidos no capítulo.

A obra apresenta diagramação colorida e diversas ilustrações, de forma a ser agradável e instigante ao aluno. Afinal, livro técnico não precisa ser impresso num sisudo preto-e-branco para ser bom. Ser difícil de manusear e pouco atraente é o mesmo que ter um professor dando aula de cara feia permanentemente. Isso é antididático.

O livro servirá também para a vida profissional pós-escolar, pois o técnico sempre necessitará consultar detalhes, tabelas e outras informações para aplicar em situação real. Nesse sentido, o livro didático técnico passa a ter função de manual operativo ao egresso.

Neste manual do professor apresentamos:

- Respostas e alguns comentários sobre as atividades propostas;
- Considerações sobre a metodologia e o projeto didático;
- Sugestões para a gestão da sala de aula;
- Uso do livro;
- Atividades em grupo;
- Laboratório;
- Projetos.

A seguir, são feitas considerações sobre cada capítulo, com sugestões de atividades suplementares e orientações didáticas. Com uma linguagem clara, o manual contribui para a ampliação e exploração das atividades propostas no livro do aluno. Os comentários sobre as atividades e seus objetivos trazem subsídios à atuação do professor. Além disso, apresentam-se diversos instrumentos para uma avaliação coerente com as concepções da obra.

## 7. Referências Bibliográficas Gerais

FREIRE, P. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra, 1997.

FRIGOTTO, G. (Org.). *Educação e trabalho: dilemas na educação do trabalhador*. 5. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

BRASIL. *LDB 9394/96*. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>. Acesso em: 23 maio 2009.

LUCKESI, C. C. *Avaliação da aprendizagem na escola: reelaborando conceitos e recriando a prática*. Salvador: Malabares Comunicação e Eventos, 2003.

PERRENOUD, P. *Avaliação: da excelência à regulação das aprendizagens – entre duas lógicas*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 1999.

ÁLVAREZ MÉNDEZ, J. M. *Avaliar para conhecer: examinar para excluir*. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SHEPARD, L. A. *The role of assessment in a learning culture*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Available at: <<http://www.era.net/meeting/am2000/wrap/praddr01.htm>>.

## 8. Orientações ao Professor

No decorrer dos anos, a eletrônica tem evoluído bastante e, dessa forma, assumiu um papel importantíssimo em nossas vidas. Basicamente, todas as áreas e tudo que está ao nosso redor têm algum aparelho construído graças a essa tecnologia.

Na área da saúde, por exemplo, a construção de modernos aparelhos possibilitou a realização de pesquisas avançadas e a descoberta de doenças. O advento da eletrônica proporcionou também maior comodidade no dia a dia das pessoas com a invenção de aparelhos domésticos, como forno de micro-ondas, televisores, aparelhos de DVD, *Blue Ray*, entre outros. Ainda surgiram veículos automotores e meios de aviação, com moderna eletrônica embarcada e elevada segurança.

Devido à imponência do tema e à alta aplicabilidade de eletrônica, o professor poderá esclarecer e incentivar o aluno quanto à sua importância. Poderá atuar como mediador e mostrar as facilidades de um profissional que domina a área de eletrônica tem para ingressar no mercado de trabalho.

O livro de Eletrônica Básica serve de apoio para proporcionar o aprendizado em eletrônica. Ele foi elaborado para atender aos cursos técnicos integrados em eletrotécnica/eletrônica, técnicos subsequentes em eletrotécnica/eletrônica, alunos de cursos tecnológicos e de engenharias elétrica e eletrônica, profissionais de automação, mecatrônica, telecomunicações e outros profissionais que precisam manter-se atualizados. O conteúdo abordado descreve de maneira dinâmica e didática os conhecimentos relativos a eletrônica. Do ponto de vista metodológico, o livro trata o assunto de forma clara, objetiva e precisa. A matemática aplicada é objetiva e são disponibilizados exercícios resolvidos. Ao final de cada capítulo há um conjunto de problemas para facilitar a fixação do conteúdo.

Suplementar a esta obra, seria interessante também que o docente pudesse orientar o aluno sobre leituras complementares, indicando livros para aprofundamento, revistas e *sites* na área de eletrônica e eletricidade. Algumas sugestões de livros, revistas e *sites* são apresentadas a seguir.

## 8.1 Objetivos do Material Didático

Ao elaborarmos este livro, procuramos desenvolver um material que auxilie o professor e o aluno visto que obras dedicadas ao Ensino Médio integrado são praticamente inexistentes. O objetivo deste livro é trabalhar com abordagens teórica e prática, destacando-se:

- Proporcionar conceitos introdutórios acerca dos materiais semicondutores e suas aplicações na construção de diodos e transistores;
- Introduzir os conceitos gerais sobre diodos semicondutores;
- Conhecer e analisar os principais tipos de retificadores a diodos;
- Monitorar e calcular os principais parâmetros e grandezas de um circuito elétrico a diodos;
- Elaborar e montar circuitos eletrônicos em laboratório (na prática);
- Elaborar e montar circuitos eletrônicos em laboratório por meio de simulações computacionais (virtual);
- Conhecer e manusear em laboratório alguns equipamentos utilizados para as medições de grandezas elétricas;
- Estudar os circuitos ceifadores, grampeadores e multiplicadores de tensão;
- Verificar o funcionamento dos elementos resistor, indutor e capacitor em corrente contínua;
- Estudar circuitos com diodos Zener;
- Montagem de fontes com tensão regulada a partir de diodos Zener;
- Conhecer e manusear fontes reguláveis fixas e variáveis a partir de circuitos integrados;
- Estudar o princípio de funcionamento dos transistores, verificar seus possíveis defeitos e estudar os métodos de polarização dos transistores.

## 8.2 Princípios Pedagógicos

Com assuntos atuais e uma linguagem clara e objetiva, esse livro é dividido em dez capítulos. Cada capítulo traz teoria, exercícios resolvidos e propostos e atividades de simulação computacional que podem ser trabalhadas tanto em sala de aula quanto em práticas laboratoriais. Essa divisão facilita o trabalho do professor no momento de dividir o capítulo em aulas. Respeitando o encadeamento de pré-requisitos, cada professor poderá adotar a sequência que sua experiência em sala de aula e seu conhecimento da realidade local indicar.

Com o intuito de auxiliar os docentes no processo de ensino-aprendizagem e propiciar métodos de avaliação que complementam vários tipos de atividades aos alunos, destacam-se, entre outros:

- Incentivar os alunos a fazer experimentos no laboratório, quando projeto prático;
- Propor atividades de simulação computacional, quando o projeto for virtual;
- Realização de seminários técnicos;
- Projetos interdisciplinares;
- Sugerir circuitos práticos em aula, para que os alunos o analisem, encontrem seu problema e determinem os seus parâmetros.

### 8.3 Articulação do Conteúdo

O conteúdo da obra poderá interagir com outras disciplinas em atividades ou projetos de estudo, pesquisa e ação, como por exemplo:

- Inglês: Na interpretação, leitura de textos e catálogos de fabricantes (*datasheets*) que geralmente são fornecidos na língua inglesa.
- Química: O primeiro passo para a compreensão do funcionamento dos diodos é entender os princípios dos semicondutores que aplicam conceitos de química no seu entendimento. Testes laboratoriais de química, envolvendo dopagem poderão ser feitos.
- Física: Uma parte da física trata da eletricidade que é pré-requisito para aplicação dos conceitos de eletrônica.
- Português: Preparação e elaboração de relatórios técnicos referentes aos experimentos.
- Informática básica e aplicada: Vários circuitos eletrônicos podem ser simulados e suas grandezas poderão ser verificadas/manipuladas com o uso de *softwares* afins.
- Circuitos elétricos/eletricidade: Para aplicar os conceitos como Lei das Tensões e Corrente de Kirchhoff, Lei das Malhas e dos Nós, utilizados em eletrônica.
- Acionamento de Máquinas Elétricas: Aplicação do aprendizado no acionamento de motores elétricos (motores de passo, motores de corrente contínua e motores de indução).

### 8.4 Atividades Complementares

As atividades complementares que os docentes podem realizar são as técnicas de laboratório, essenciais à compreensão, diretamente ligadas à prática.

Os trabalhos em grupo devem ser motivados. Com eles, o aluno aprenderá a trabalhar em equipe e trocar experiências. Poderão ser feitas a montagem de equipamentos elétricos simples, tais como fontes simétricas, amplificadores com o uso de transistores, montagem de retificadores, entre outros.

Pesquisas de conteúdos tratados em sala de aula e que levam ao aprofundamento devem ser valorizados.

A utilização de *softwares* computacionais é de grande importância, haja visto que várias empresas que atuam nos setores eletrônicos, industriais e de energia elétrica privilegiam as atividades de simulação de comportamento elétrico para a tomada de decisões.

## 8.5 Sugestões de Leitura

BOGART JR. T. F. *Dispositivos e Circuitos Eletrônicos*. São Paulo: Makron Books, [s.d.]. vol. 1 e 2. Os temas são abordados com maior profundidade.

BOYLESTAD, R. L. *Introdução à Análise de Circuitos Elétricos*. 10.ed. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2004.

Obra sólida de circuitos elétricos e dividida em vinte e seis capítulos. Pode ser utilizada tanto nos cursos superiores quanto em cursos técnicos. O livro apresenta conceitos primordiais ao entendimento de eletrônica, pois, circuitos elétricos/electricidade é um dos pré-requisitos para o ensino de eletrônica.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. 8. ed. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 2004.

Obra clássica dividida em vinte e um capítulos. É uma excelente fonte de estudos sobre o tema e, além disso, oferece ao docente muitos recursos para o ensino de eletrônica.

MALVINO, A. P. *Eletrônica*. São Paulo: Makron Books, 1995. vol. 1. e 2.

O volume 1 é composto de quinze capítulos, e o volume 2 dá continuidade aos temas tratados no capítulo 1. O livro possibilita uma compreensão essencial das características dos dispositivos semicondutores, como testes e circuitos práticos. Os conceitos são escritos de forma coloquial e de fácil leitura, estabelecendo o fundamento necessário para a compreensão do funcionamento e verificação de defeitos dos sistemas eletrônicos.

MARCUS, O. *Sistemas Analógicos: Circuitos com Diodos e Transistores*. 7. ed. São Paulo: Érica, 2007.

Esta obra é dividida em dezesseis módulos, e trata dos vários tipos de diodos e transistores bipolares. O livro contém muitas aplicações práticas, estimulando a análise e o desenvolvimento de projetos. É formado por teoria seguida de fichas de exercícios de aplicação imediata. Cada módulo possui, ainda, um conjunto de atividades complementares, incluindo os fundamentos físicos e matemáticos necessários, exercícios propostos e inglês técnico.

MARQUES, A. E. B.; CRUZ, E. C. A.; CHOUERI JR., S. *Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores*. 10. ed. São Paulo: Érica, 2006.

Livro constituído de quatorze capítulos, destinado aos cursos técnicos. Inicia os alunos no mundo dos dispositivos semicondutores. Analisa as características físicas, elétricas e as aplicações do diodo semicondutor, diodo Zener, LED, fotodiodo, fototransistor, fotoacoplador, transistor bipolar, JFET, MOSFET, PTC, NTC e LDR, dando condições para o desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos que utilizam dispositivos como os amplificadores, fontes de tensão estabilizadas etc., além de subsídios para o estudo de outros dispositivos semicondutores.

MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C. *Eletrônica: Dispositivos e Circuitos*. vol. 1. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1981.

SEDRA, A. S. ; SMITH, K. C. *Microeletrônica*. 4. ed. São Paulo: Makron Books  
Livro com temas da área de eletrônica tratados de forma mais aprofundada.

SCHMIDT, W. *Materiais Elétricos*. 2. ed. [s. l.]: Editora Edgar Blücher Ltda, 1979. vol. 1 e 2.  
Esse livro trata especificamente sobre os materiais condutores, semicondutores e isolantes.

## Alguns Sites de Eletrônica

<<http://www.malvino.com>>

*Site* muito bom elaborado pelo autor de um livro de eletrônica. Nele estão disponíveis materiais para *download* que ajudarão no ensino/aprendizagem de eletrônica. Há um *link* que disponibiliza algumas animações que auxiliarão na compreensão nos fenômenos e princípios da área.

<<http://www.eletronica24h.com.br/cursoeletronica/index.htm>>

Esse *site* foi construído para difundir conhecimentos na área de eletrônica. Particularmente dedicado a alunos e professores que desejam estudar eletrônica, circuitos e/ou outras áreas relacionadas à elétrica. São apresentados *links* com artigos técnicos e ideias de projeto envolvendo eletrônica. Ainda são disponibilizados dados contendo manuais de fabricantes e montagem de experimentos.

<<http://www.ee.pucrs.br/~fdosreis/>>

*Site* do Prof. Fernando Soares dos Reis que disponibiliza material didático ao docente da área de eletrônica. O autor ainda oferece recursos para redigir relatórios técnicos e *links* para efetuar *download* de *softwares* para simulação de circuitos eletrônicos.

<<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gutemb/>>

*Site* pessoal do Prof. José Gutemberg de Assis Lira no qual são abordadas várias áreas, entre elas a eletrônica. O *site* oferece ainda apostilas de eletrônica, *links* para estudos e aprofundamentos, entre outros.

<<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/>>

*Site* do Prof. José Antenor Pomilio. Esta página oferece apostilas de temas envolvendo eletrônica e outros assuntos relacionados.

<[http://www.ipes.ethz.ch/ipes/sp\\_index.html](http://www.ipes.ethz.ch/ipes/sp_index.html)>

*Site* disponível em várias línguas. Os assuntos são tratados de forma mais aprofundada e alguns circuitos podem ser simulados *on-line*.

<<http://www.educyedia.be/electronics/electronicaopening.htm>>

Esse *site* é uma fonte de informação sobre o material científico e educacional: Eletrônica, Ciência, Engenharia, Enciclopédia e Tecnologia da Informação. Todos os *links* são testados com relação ao conteúdo, sem vínculos comerciais. É apresentada uma vasta quantidade de recursos para as mais diversas áreas, entre elas a eletrônica.

<<http://www.josematias.pt/alunos.htm>>

Página pessoal do Prof. José Vagos Carreira Matias, elaborada na língua portuguesa. Nela você encontrará informações detalhada sobre temas técnicos e didáticos, esquemas elétricos, fotos, passatempos, entre outras informações úteis. Está também disponível uma lista de *links* interessantes. Basicamente, são apresentados e disponibilizados materiais das áreas de eletrotécnica e eletrônica.

<<http://www.dee.feis.unesp.br/docentes/canesin/lep10/index.php>>

Site de eletrônica de potência que apresenta ferramentas de simulação interativa de apoio à melhoria da educação eletrônica de potência. São disponíveis ferramentas gratuitas de simulação para alunos e professores. Essas ferramentas interativas fazem uso dos benefícios da linguagem Java para fornecer uma visualização dinâmica e interativa das simulações.

<<http://www.sabereletronica.com.br/>>

Site que disponibiliza revistas e artigos da série *Saber Eletrônica* e *Eletrônica Total*. Além das revistas, estão disponíveis artigos técnicos, vídeos, entre outros.

<<http://www.comunidadeelectronicos.com/>>

Esse site é especialmente interessante. Trata-se de um site em espanhol para atender à comunidade de técnicos que atuam no campo da Eletrônica. Ele possui uma infinidade de assuntos, artigos e orientações técnicas que podem ajudar bastante os leitores em suas atividades escolares e profissionais. Vale a pena acessá-lo e navegar nele. Você vai se surpreender com a riqueza do conteúdo técnico.

<<http://www.ti.com>> e <<http://www.national.com>>

Nesses sites você acessará a Texas Instruments e a National Semiconductor, dois dos maiores fabricantes de circuitos integrados analógicos e digitais do mundo. Você poderá obter dados sobre uma infinidade de componentes.

<<http://www.electronicworkbench.com>>

Esse site é muito importante, pois nele você poderá fazer o *download* ou solicitar o CD com a mais nova versão demonstrativa do *software* MultiSim®, o qual permitirá que você execute todos os circuitos disponibilizados no livro. Ao acessar o site você deverá prestar atenção nas orientações em inglês contidas nele e deverá preencher um cadastro (sem compromisso algum de comprar ou de pagar) para acessar a área de *download* ou de solicitação do CD.

## 8.6 Sugestão de Planejamento

Este livro foi elaborado para dar suporte e ser utilizado para 60 horas em sala de aula. A sugestão de planejamento que anunciamos segue neste diapasão. Mas é altamente recomendado que o professor da disciplina incremente com textos e atividades complementares em conformidade com o seu jeito próprio de ministrar as aulas, sobretudo potencializando sua especialização, aplicando sua criatividade em prol do incremento do processo educativo.

### Semestre 1

#### Primeiro Bimestre

#### Capítulo 1 – Princípio dos Semicondutores

##### Objetivos

- Fazer um breve histórico da evolução da eletrônica.
- Mostrar a estrutura atômica: número atômico, órbitas dos elétrons, elétrons de valência e ionização.

- Conceituar e analisar os materiais semicondutores, condutores e isolantes.
- Mostrar o processo de formação das ligações covalentes.
- Identificar como ocorre a condução nos semicondutores.
- Mostrar como se formam os semicondutores do tipo N e do tipo P e analisar suas características físicas e elétricas.
- Evidenciar a formação do diodo semicondutor: Como ocorre a formação da camada de depleção e da barreira de potencial.
- Mostrar os métodos de polarização do diodo.
- Mostrar as curvas características de tensão *versus* corrente dos principais modelos de diodos.
- Mostrar os modelos de diodos mais aplicáveis na prática e os principais tipos de encapsulamentos.
- Comprovar e mostrar as principais medições feitas para o teste de diodos.
- Fazer testes experimentais com diodos.
- Analisar circuitos com diodos alimentados com fontes contínuas.
- Realizar simulações computacionais em circuitos básicos com diodos.

## Capítulo 2 – Diodos e suas Principais Aplicações 1

### Objetivos

- Apresentar os conceitos básicos de sinais alternados.
- Comparar sinais alternados e contínuos no tempo.
- Representar graficamente os sinais alternados.
- Apresentar e efetuar cálculos com sinais senoidais.
- Apresentar o princípio de funcionamento de transformadores monofásicos e suas principais conexões.
- Analisar os circuitos retificadores de meia-onda: Esboço das principais formas de onda de circuitos retificadores.
- Apresentar a diferença entre circuitos retificadores empregando diodos ideais e práticos.
- Elaborar circuitos retificadores de meia-onda no laboratório.
- Realizar simulações computacionais de circuitos retificadores de meia-onda e verificar as principais formas de onda de tensão e corrente do circuito.
- Aprender a trabalhar com os principais equipamentos para testes laboratoriais, tais como: osciloscópios, multímetros, amperímetros, voltímetros, transformadores, entre outros.

## Capítulo 3 – Diodos e suas Principais Aplicações 2

### Objetivos

- Apresentar os conceitos básicos dos retificadores de onda completa: aplicabilidades e vantagens.
- Mostrar o princípio de funcionamento dos retificadores de onda completa com transformadores de tomada central. Análise, obtenção de formas de onda e estudo das características do transformador empregado.
- Mostrar o princípio de funcionamentos dos retificadores de onda completa em ponte. Aspectos construtivos e principais formas de onda de tensão e corrente.
- Efetuar simulações computacionais, usando *softwares* afins, dos retificadores de onda completa com transformador de tomada central e em ponte.
- Mostrar e comprovar a importância do uso de filtros capacitivos para minimização das indesejáveis ondulações de tensão na saída dos retificadores.

## Segundo Bimestre

### Capítulo 4 – Circuitos Ceifadores

#### Objetivos

- Apresentar os conceitos básicos e aplicabilidade dos circuitos ceifadores.
- Mostrar como funcionam os ceifadores série e ceifadores paralelos.
- Utilizar ferramentas computacionais para verificação dos sinais de tensão e/ou corrente obtidos na saída dos circuitos ceifadores.
- Montar em laboratório os principais circuitos ceifadores.

### Capítulo 5 – Circuitos Grampeadores e Multiplicadores de Tensão

#### Objetivos

- Apresentar os conceitos básicos e aplicabilidade dos circuitos grampeadores.
- Mostrar como funcionam os grampeadores positivos e grampeadores negativos.
- Verificação da tensão de saída de circuitos grampeadores com fontes senoidais e quadradas.
- Mostrar os procedimentos para análise e montagem de circuitos multiplicadores de tensão.
- Utilizar ferramentas computacionais para verificação dos sinais de tensão e/ou corrente obtidos na saída dos circuitos grampeadores.
- Montar em laboratório os principais circuitos grampeadores.

## Semestre 2

### Primeiro Bimestre

#### Capítulo 6 – Diodos Zener: Reguladores de Tensão

##### Objetivos

- Apresentar os conceitos básicos e evidenciar a importância das fontes reguláveis.
- Mostrar a diferença da tensão de saída para as fontes reguláveis e não reguláveis.
- Analisar as características físicas e elétricas dos diodos Zener.
- Realizar análises CC dos circuitos com diodos Zener sem carga.
- Analisar a operação de circuitos com diodos Zener com carga.
- Mostrar o princípio de funcionamento dos circuitos limitadores, construídos com diodos Zener.
- Projetar e construir em laboratório circuitos estabilizadores de tensão com diodos Zener.
- Utilizar ferramentas computacionais para verificação dos sinais de tensão e/ou corrente obtidos na saída dos circuitos a diodos Zener.

#### Capítulo 7 – Reguladores de Tensão a Partir de Circuitos Integrados

##### Objetivos

- Apresentar os conceitos, aplicações e vantagens dos reguladores de tensão fixos.
- Mostrar os códigos dos principais reguladores de tensão fixos e variáveis, positivos e negativos.
- Realizar simulações em *softwares* afins sobre os reguladores fixos e variáveis.
- Efetuar testes experimentais em laboratório com circuitos reguladores de tensão.
- Analisar e propor projetos de fontes de alimentação simétricas construídas com circuitos integrados.

### Segundo Bimestre

#### Capítulo 8 – Transistor Bipolar de Junção (TBJ): Princípio de Funcionamento

##### Objetivos

- Apresentar as principais aplicações dos transistores bipolares de junção (TBJ).
- Analisar as características físicas e elétricas dos transistores bipolares de junção: aspectos construtivos e funcionamentos do TBJ.
- Mostrar os procedimentos para polarização direta e reversa dos transistores.
- Conceituar e identificar o ganho de corrente nos transistores.
- Apresentar as expressões matemáticas iniciais dos transistores.
- Realizar simulações em *softwares* afins sobre os reguladores fixos e variáveis.
- Efetuar testes experimentais em laboratório com circuitos básicos a transistores.

## Capítulo 9 – Verificação de Defeitos em Transistores Bipolares de Junção

### Objetivos

- Apresentar os procedimentos para o teste e identificação dos terminais dos transistores: Identificação dos terminais coletor, base e emissor dos TBJs, se ele é NPN ou PNP.
- Verificar defeitos em circuitos básicos com transistores.
- Apresentar as principais configurações e curvas características dos transistores.
- Apresentar o conceito de reta de carga e ponto de operação do TBJ.
- Analisar as especificações dos transistores mostradas em dados dos fabricantes.
- Realizar simulações em *softwares* afins sobre os transistores.
- Efetuar testes experimentais em laboratório com circuitos básicos a transistores.

## Capítulo 10 – Polarização dos Transistores Bipolares de Junção

### Objetivos

- Apresentação dos conceitos iniciais: variação do ganho de corrente com a temperatura, alteração no ponto de operação dos transistores.
- Definir ponto quiescente e reta de carga para o transistor bipolar.
- Expor os principais métodos de polarização dos transistores e suas respectivas expressões matemáticas.
- Apresentar as principais configurações e curvas características dos transistores.
- Mostrar como determinar os resistores de polarização para cada configuração.
- Construir a reta de carga para cada circuito de polarização.
- Analisar o comportamento e identificar o comportamento de cada configuração frente às alterações térmicas por meio da alteração no ganho de corrente.
- Realizar simulações computacionais em *softwares* afins em cada configuração de polarização dos transistores.
- Efetuar testes experimentais em laboratório com as principais configurações de polarização apresentadas.

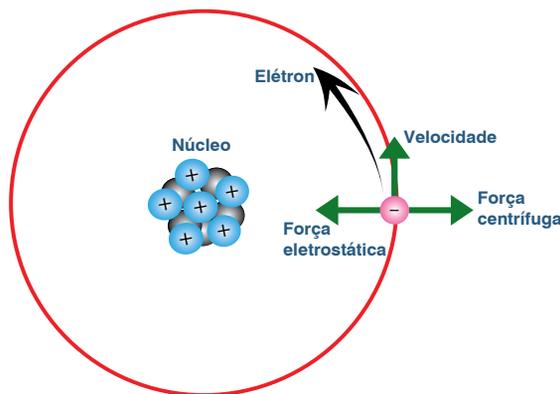
## 9. Orientações Didáticas e Respostas das Atividades

Neste manual, apresentamos a resolução dos exercícios propostos ao final de cada capítulo do livro de eletrônica básica. A solução desses problemas é um recurso extra que auxilia o professor na elaboração da aula.

### Capítulo 1

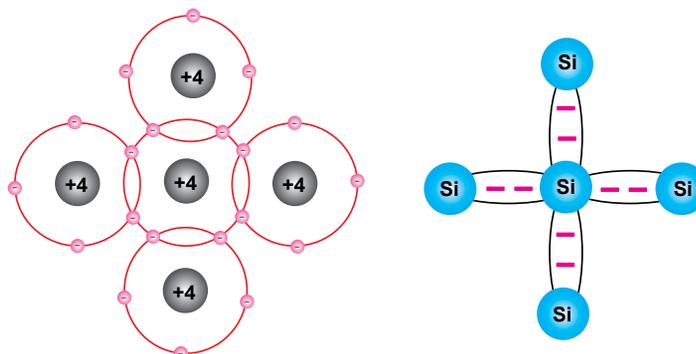
#### Respostas – página 43

- 1) O átomo é a menor partícula de um elemento e é eletricamente neutro, pois o número de elétrons presentes em suas órbitas é igual ao número de prótons do seu núcleo. Basicamente, o átomo é dividido em duas partes: o núcleo e a eletrosfera. No núcleo estão dispostos os prótons e os nêutrons. Na eletrosfera, estão os elétrons, distribuídos em sete camadas.
- 2) O elétron é uma partícula carregada com carga elétrica negativa e giram em órbitas bem definidas, conhecidas como K, L, M, N, O, P e Q, conforme modelo atômico de Bohr.
- 3) O elétron precisa estar a uma determinada distância do núcleo, numa dada órbita, e movimentar-se numa dada velocidade. Nesse processo atuam sobre o elétron duas forças. Uma delas é a força centrífuga, orientada radialmente e para fora do átomo. A outra é a força eletrostática entre o elétron e o núcleo, orientada radialmente e em direção ao núcleo. Para que haja estabilidade essas duas forças devem atuar, tornando o elétron estável. A figura a seguir mostra resumidamente o núcleo, o elétron e as duas forças.



- 4) Elétrons de valência são aqueles localizados nas camadas mais externas de um átomo. A última órbita de um átomo define a sua valência. Os elétrons que estão mais distantes do núcleo possuem mais energia do que aqueles localizados próximos a ele, e isso ocorre porque existe uma força de atração entre o núcleo, positivamente carregado, e o elétron carregado com carga negativa. Essa força de atração diminui à medida que essa distância aumenta. Assim, os elétrons com mais energia estão localizados nas camadas mais externas do átomo.
- 5) Um elétron livre é aquele que adquiriu energia suficiente para deixar a banda de valência e sob o acréscimo de energia se torna livre. Os elétrons que estão na banda de valência têm mais facilidade para sair do átomo, quando recebem um acréscimo de energia, sob a forma de luz ou calor. Ao receberem este acréscimo de energia, os elétrons tornam-se livres, saem da banda de valência e dirigem-se para a banda de condução, onde sob a ação de um campo elétrico formam a corrente.

- 6) Quando um átomo neutro perde um elétron, o átomo torna-se um íon positivo. Quando um átomo neutro ganha um elétron, o átomo torna-se um íon negativo.
- 7) Os materiais condutores têm muitos elétrons livres, e facilmente conduzem a corrente elétrica. Já os materiais isolantes, geralmente não possuem elétrons livres.
- 8) Num material condutor, a resistividade do material é baixa e, portanto, conduz corrente elétrica com facilidade. Nos materiais isolantes, a resistividade é alta e, portanto, não conduz corrente elétrica sob condições normais de operação. Os materiais semicondutores podem ser sólidos ou líquidos capazes de mudar com facilidade a sua condição de isolante para a de condutor. Pode-se dizer que, em termos de condutividade, os materiais semicondutores são intermediários, ou seja, não são bons condutores e nem são bons isolantes, possuindo capacidade intermediária de condução de corrente elétrica.
- 9) O cobre tem apenas um elétron na camada de valência.
- 10) Geralmente, um semicondutor com o silício e o germânio têm quatro elétrons na camada de valência.
- 11) Ouro, cobre e alumínio.
- 12) Um dos semicondutores mais utilizados é o silício. Isso se deve principalmente à facilidade de encontrar o silício na natureza.
- 13) Geralmente, os materiais condutores possuem de um a três elétrons na camada de valência. Os materiais isolantes possuem, tradicionalmente, oito elétrons na camada de valência. Já os semicondutores como o silício e o germânio têm quatro elétrons na camada de valência. O que acontece na verdade, é que os elétrons de valência dos materiais semicondutores estão mais fortemente ligados ao átomo se comparados aos elétrons dos materiais condutores.
- 14) As ligações covalentes são formadas pelo compartilhamento de elétrons de valência de um átomo com os átomos vizinhos. Por exemplo: o silício possui quatro elétrons na camada de valência. Esses quatro elétrons de um átomo compartilham elétrons com o átomo vizinho, e assim por diante.
- 15) Material intrínseco é aquele que está em seu estado puro. O silício e o germânio, por exemplo, quando são encontrados na natureza estão em seu estado intrínseco (puro).
- 16) Quando os átomos se combinam para formarem um material sólido, eles organizam-se de forma ordenada (simétrica), originando o cristal. A figura a seguir mostra esquematicamente a interligação de cada átomo de silício com os átomos de silício adjacentes (vizinhos), formando um cristal de silício.

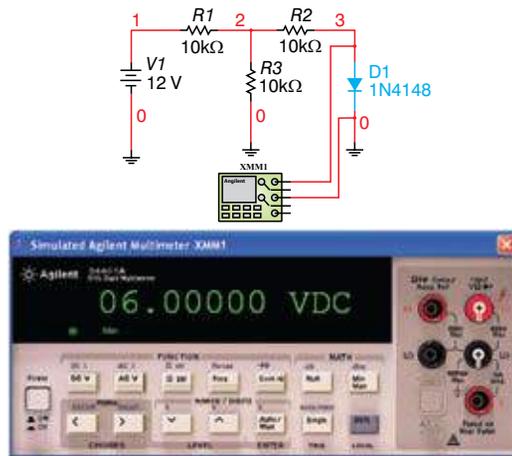


- 17) Num cristal de silício, existem oito elétrons de valência compartilhados em cada átomo.
- 18) Na verdade, os elétrons só serão considerados livres quando estão na banda de condução, quando sob um acréscimo de energia na forma de luz, calor ou d.d.p. surge a corrente elétrica.
- 19) Os elétrons responsáveis pela corrente em um material são os elétrons livres. A corrente surge quando esses elétrons livres começam a se movimentar no interior do material.
- 20) O buraco é muitas vezes denotado também por lacuna e pode ser definido como sendo a ausência de elétrons na banda de valência.
- 21) Dopagem é o processo de adicionar impurezas de determinados tipos aos semicondutores a fim de modificar suas propriedades de condução.
- 22) Os átomos pentavalentes possuem cinco elétrons na camada de valência e são também chamados de doadores. Já os átomos de material trivalente têm três elétrons na camada de valência e são chamados de receptores.
- 23) O material tipo N é formado pela adição de impurezas de materiais pentavalentes (cinco elétrons na camada de valência) como, por exemplo, o arsênio (As), o antimônio (Sb) e o fósforo (P) ao material semiconductor intrínseco (silício ou germânio). Com isso, o número de elétrons livres é maior do que o número de lacunas, fazendo com que os elétrons livres sejam maioria. Como os elétrons são carregados com carga negativa, esse semiconductor é chamado tipo N.
- 24) O material tipo P é formado pela injeção de impurezas de materiais trivalentes (três elétrons na camada de valência) como, por exemplo, o alumínio (Al), boro (B) e o gálio (Ga) ao material semiconductor intrínseco. Nesse processo, haverá a formação de buracos ou lacunas, que são carregados com carga positiva. Por isso as impurezas trivalentes são chamadas de impurezas tipo P.
- 25) Os portadores majoritários nos semicondutores tipo N são os elétrons livres. Após a dopagem com impurezas pentavalentes os elétrons, carregados com carga negativa são maioria e, por isso, são chamados portadores majoritários.
- 26) Os portadores majoritários nos semicondutores tipo P são os buracos ou as lacunas. Após a dopagem com impurezas trivalentes, os buracos, carregados com carga positiva, são maioria e, por isso, chamados portadores majoritários.
- 27) Os portadores majoritários são produzidos pelo processo de dopagem com impurezas chamadas de impurezas dopantes.
- 28) Os portadores minoritários são produzidos pelo processo de dopagem com impurezas chamadas de impurezas dopantes.
- 29) Semicondutores intrínsecos são aqueles encontrados em seu estado puro. Depois de submetidos ao processo de dopagem, esses semicondutores são chamados de semicondutores extrínsecos.
- 30) A junção P-N, na verdade, é a união entre os semicondutores do tipo P com os semicondutores do tipo N.
- 31) Difusão é o deslocamento de elétrons do material do tipo N para o material do tipo P. Esse excesso de elétrons tende a migrar do material do tipo N para o do tipo P para manter o equilíbrio eletrônico e também a estabilidade química.

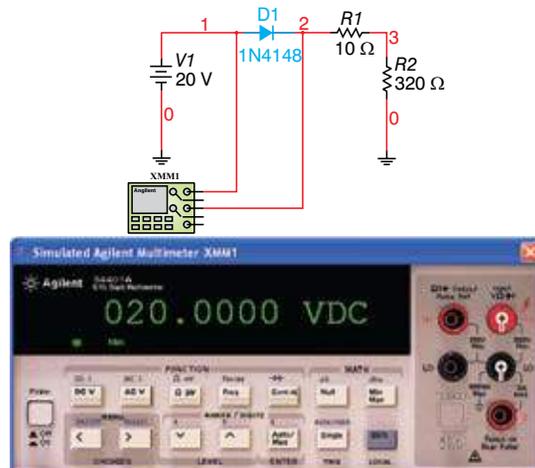
- 32) Depleção significa diminuição ou ausência de portadores majoritários na região próxima à junção P-N. Na região de depleção, são formadas camadas finas de íons positivos e negativos em ambos os lados da junção P-N. À medida que os átomos do material tipo P próximos à junção recebem os primeiros elétrons, preenchendo suas lacunas, no lado N forma-se uma região com íons positivos (falta de elétrons). De maneira semelhante, no lado P forma-se uma região com íons negativos (excesso de elétrons), dificultando ainda mais a passagem da corrente elétrica.
- 33) Como a camada de depleção fica ionizada, cria-se junto à junção um campo elétrico ou diferença de potencial chamada de barreira de potencial. Esse potencial é a quantidade de energia necessária para mover os elétrons por meio da região de depleção.
- 34) Na temperatura de 25°C o valor desse potencial para o diodo de silício é de aproximadamente 0,7 V.
- 35) Na temperatura de 25°C o valor desse potencial para o diodo de germânio é de aproximadamente 0,3 V.
- 36) A polarização direta ocorre quando o potencial positivo da fonte encontra-se ligado no lado P e o potencial negativo no lado N. Quando isso ocorre, os elétrons livres do lado N atravessam a junção P-N e combinam-se com os buracos formados do lado P. Esse movimento de elétrons forma a corrente elétrica.
- 37) Para polarizar diretamente um diodo, basta aplicar o potencial positivo de uma fonte externa na região P e o potencial negativo da fonte ao lado N.
- 38) A polarização reversa ocorre quando o potencial negativo da fonte externa é interligado ao lado P e o potencial positivo da fonte ao lado N. Na polarização reversa não há circulação de corrente de altas magnitudes. Existe apenas uma pequena corrente de polarização reversa chamada de corrente de fuga ou corrente reversa.
- 39) Para polarizar reversamente um diodo, basta aplicar o potencial positivo de uma fonte externa na região N e o potencial negativo da fonte ao lado P.
- 40) Quando o diodo está diretamente polarizado a camada de depleção é bem estreita, enquanto quando reversamente polarizado a camada de depleção alarga-se.
- 41) Os portadores majoritários de corrente são produzidos na polarização direta.
- 42) Quando o diodo é reversamente polarizado não há fluxo de portadores majoritários de corrente. Por outro lado, há um fluxo de portadores minoritários, dando origem a uma corrente elétrica muito pequena, chamada corrente reversa ou ainda corrente de fuga.
- 43) O efeito avalanche ocorre quando o diodo é reversamente polarizado, com valores de tensão reversa (negativa) que extrapolam os dados de projeto do fabricante. O fabricante nomeia essa tensão reversa de tensão de ruptura. Acima desse valor a corrente aumenta instantaneamente, e o diodo simplesmente se rompe.
- 44) Para valores de tensão direta aplicadas ao diodo, cujo valor está abaixo da “tensão do joelho” da curva a corrente é baixa. Por outro lado, para valores de tensão acima da “tensão do joelho” a corrente aumenta instantaneamente. O valor dessa tensão do joelho vale aproximadamente 0,7 V para os diodos de silício e 0,3 V para os diodos de germânio.
- 45) O diodo opera normalmente quando diretamente polarizado com valores de tensão que estão acima da tensão do joelho da curva (acima de 0,7 V para os diodos de silício e 0,3 V para os diodos de germânio).

- 46) A tensão de ruptura é bem maior que a tensão de barreira de potencial. Essas grandezas geralmente são fornecidas nos catálogos de fabricantes.
- 47) Um diodo opera normalmente na polarização reversa quando os valores de tensão aplicados pela fonte externa estão abaixo da tensão do joelho. Isso inclui valores de tensão negativos.
- 48) Geralmente, a barreira de potencial diminui com o aumento da temperatura.
- 49) Um átomo com número atômico igual a (6) terá (6) elétrons e (6) prótons.
- 50) Na terceira camada, poderá existir um número máximo de dezoito (18) elétrons.
- 51) Os materiais mostrados na figura 1.54 são:  
(a) isolante, (b) semicondutor e (c) condutor.
- 52) O átomo com quatro elétrons na camada de valência é um semicondutor.
- 53) Num cristal de silício cada átomo forma quatro ligações covalentes.
- 54) A corrente elétrica é produzida na banda de valência e banda de condução.
- 55) A dopagem é a injeção controlada de átomos de materiais pentavalentes e trivalentes ao semicondutor puro (intrínseco) visando aumentar o número de portadores majoritários (elétrons livres ou lacunas).
- 56) O antimônio é um material pentavalente (possui cinco elétrons na camada de valência) e é usado para aumentar o número de elétrons livres. O boro é um material trivalente (possui três elétrons na camada de valência) e é usado para aumentar o número de lacunas ou buracos.
- 57) O campo elétrico por meio da junção P-N é criado pela migração dos elétrons do material tipo N para o material tipo P. À medida que os átomos do material tipo P próximo à junção recebem os primeiros elétrons, preenchendo suas lacunas, no lado N forma-se uma região com íons positivos (falta de elétrons) e, no lado P, uma região com íons negativos (excesso de elétrons). Portanto, estabelecendo um campo elétrico entre os íons.
- 58) A barreira de potencial criado junto à junção é uma queda de tensão que deve ser transposta para que haja o fluxo de corrente elétrica e não uma fonte de energia.
- 59) Para polarizar diretamente um diodo, o polo positivo da fonte externa deverá ser interligado à região P.
- 60) A resistência em série é inserida com o intuito de limitar a corrente que passa pelo diodo, evitando que ele “queime” por excesso de corrente.
- 61) O diodo encontra-se diretamente polarizado com o polo positivo da fonte ligado à região P, e o polo negativo à região N. Quando o valor da tensão da fonte é menor que a tensão de barreira de potencial do diodo, a corrente é muito baixa, e o diodo não conduz. Quando a tensão da fonte externa ultrapassa a barreira (0,7 V para diodos de silício e 0,3 V para os diodos de germânio) a corrente aumenta instantaneamente fazendo o diodo conduzir. Aumentando gradativamente a tensão da fonte externa e inserindo medidores de tensão e corrente, é possível, a cada valor de tensão injetada, obter a tensão sobre o diodo e a corrente que passa por ele, construindo assim a curva  $V \times I$ .
- 62) Uma variação na temperatura altera completamente o comportamento da tensão e da corrente num diodo. Um aumento da temperatura, por exemplo, fará com que a tensão de barreira caia de 0,7 V para 0,6 V.

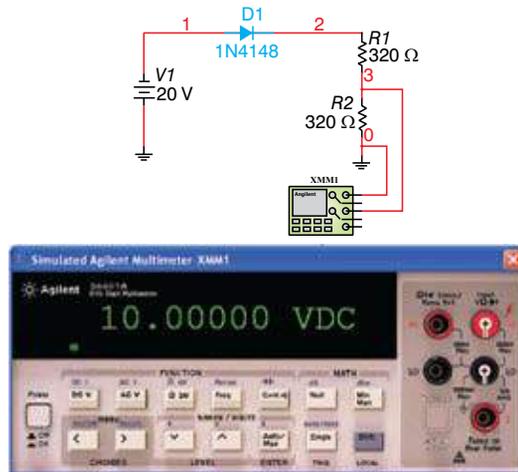
- 63) (a) diretamente polarizado, (b) diretamente polarizado, (c) diretamente polarizado, (d) diretamente polarizado.
- 64) Nomeando a tensão sobre o diodo de  $V_D$  e após análise todos estão conduzindo, tem-se:  
 (a)  $V_D = 0,7 \text{ V}$ , (b)  $V_D = 0,7 \text{ V}$ , (c)  $V_D = 0,7 \text{ V}$ , (d)  $V_D = 0,7 \text{ V}$ .
- 65) Analisando o circuito, verifica-se que o diodo está diretamente polarizado. Estando diretamente polarizado a tensão sobre ele deveria ser de  $0,7 \text{ V}$ , considerando-se que o diodo seja de silício. Para leitura apresentada pelo voltímetro de  $6 \text{ V}$ , verifica-se que o diodo está **aberto**.



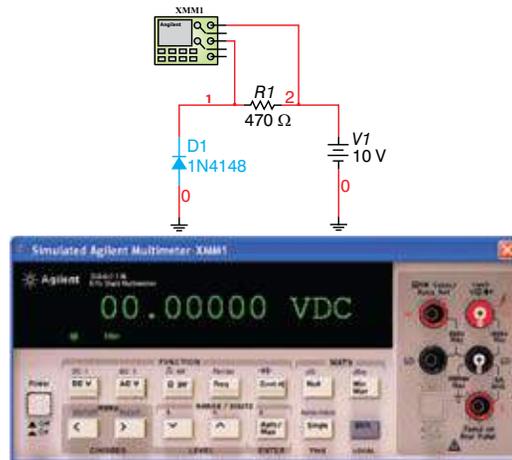
Analisando o circuito a seguir, verifica-se que o diodo está diretamente polarizado com o ânodo mais positivo que o catodo. Estando diretamente polarizado, a tensão sobre ele deveria ser de  $0,7 \text{ V}$ , considerando-se que o diodo seja de silício. Para leitura apresentada pelo voltímetro de  $20 \text{ V}$ , verifica-se que o diodo está **aberto**. Nesse caso, toda a tensão da fonte continua surge sobre o diodo.



No caso a seguir, verifica-se que o ânodo está mais negativo que o catodo, teoricamente caracterizando um diodo reversamente polarizado. Estando reversamente polarizado, o diodo não conduz e, dessa forma, não há passagem de corrente elétrica. Consequentemente, a tensão medida sobre o resistor deveria ser nula caso o diodo estivesse funcionando corretamente. Nesse caso particular, o diodo está danificado, em **curto-circuito**.



No caso a seguir, o diodo está funcionando corretamente. Estando reversamente polarizado, não permite a passagem de corrente elétrica e, portanto, a tensão sobre o resistor é igual a zero.

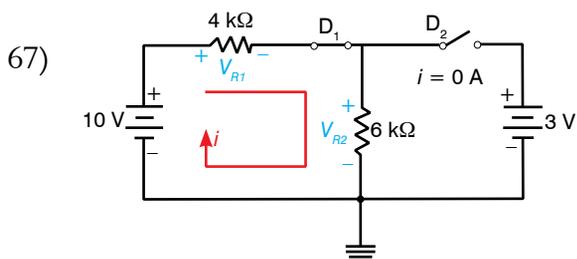


66)  $V_R = V_S = +25 \text{ V}$   
 $V_T = V_U = -15 \text{ V}$

A corrente que passa pelo resistor vale:

$$V_{Resistor} = 30 + 15 \text{ V} \Rightarrow V_{Resistor} = 45 \text{ V}$$

$$I_{Resistor} = \frac{45}{1500} \Rightarrow I_{Resistor} = 30 \text{ mA}$$



- O diodo  $D_1$  conduz.
- O diodo  $D_2$  não conduz.

**Considerando diodos ideais e aplicando L.T.K. na malha à direita:**

$$10 - V_{R1} - V_{R2} = 0 \Rightarrow$$

$$10 - 4\,000 \cdot i - 6\,000 \cdot i = 0 \Rightarrow$$

$$i = \frac{10}{10\,000} \Rightarrow \boxed{i = 1 \text{ mA}}$$

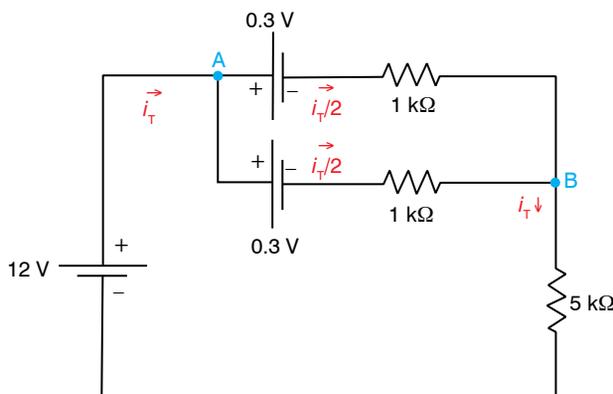
**Pela Lei de Ohm:**

$$V_{R1} = 4\,000 \cdot i = 4\,000 \times 1 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{R1} = 4 \text{ V}}$$

$$V_{R2} = 6\,000 \cdot i = 6\,000 \times 1 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{R2} = 6 \text{ V}}$$

- 68) a. Diretamente polarizado.  
 b. Diretamente polarizado.  
 c. Diretamente polarizado.  
 d. Diretamente polarizado.  
 e. Diretamente polarizado.  
 f. Diretamente polarizado.  
 g. Diretamente polarizado.
- 69)  $L_1$  e  $L_3$  : II – não acendem.  
 $L_2$ : III – acende com sobrecarga de tensão podendo danificar-se.  
 $L_4$  e  $L_5$ : I – acendem.
- 70) a.  $L_1$  acende e  $L_2$  não acende.  
 b.  $L_1$  acende,  $L_2$  e  $L_3$  não acendem.  
 c.  $L_1$  e  $L_2$  acendem e  $L_3$  não acende.  
 d. Todas as lâmpadas vão acender.

71)



- Para resolver esse exercício, considere a figura onde o diodo de germânio foi substituído por uma bateria de 0,3 V e foram criados os nós "A" e "B".
- Pela Lei das Correntes de Kirchhoff as correntes que chegam ao nó são iguais às que saem do nó. Portanto, nomeando a corrente que chega ao nó de  $i_T$ , pela L.T.K. em um dos ramos, obtém-se:

$$12 - 0,3 - \left( \frac{1\,000 \cdot i_T}{2} \right) - 5\,000 \cdot i_T = 0 \Rightarrow$$

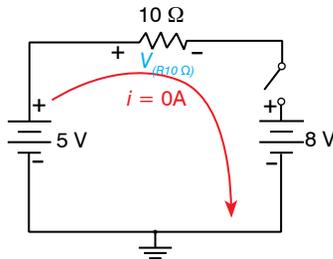
$$11,7 - 500 \cdot i_T - 5\,000 \cdot i_T = 0 \Rightarrow$$

$$11,7 - 5\,500 \cdot i_T = 0 \Rightarrow i_T = \frac{11,7}{5\,500} \Rightarrow i_T = 2,13 \text{ mA}$$

$$\text{A corrente que passa por cada diodo é } \frac{i_T}{2} = \frac{2,13 \times 10^{-3}}{2} = 1,06 \text{ mA}$$

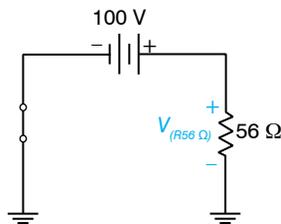
72)

a.



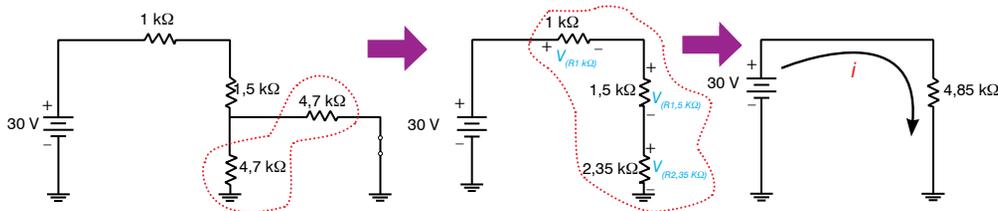
O diodo está reversamente polarizado  $\Rightarrow V_{(10\ \Omega)} = 0 \text{ V}$

b.



O diodo está diretamente polarizado e a fonte de 100 V está em paralelo com o resistor  $\Rightarrow V_{(56\ \Omega)} = 100 \text{ V}$

c.



- O diodo está diretamente polarizado;
- Os dois resistores de 4,7 kΩ estão em paralelo;
- Após efetuar o cálculo do paralelismo entre os resistores de 4,7 kΩ obtém-se 2,35 kΩ;
- Agora temos três resistores em série  $\Rightarrow R_{Total} = 1 \text{ k}\Omega + 1,5 \text{ k}\Omega + 2,35 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_{Total} = 4,85 \text{ k}\Omega$ ;
- A corrente total do circuito será:  $i = \frac{30}{4,85 \times 10^3} \Rightarrow i = 6,19 \text{ mA}$ ;

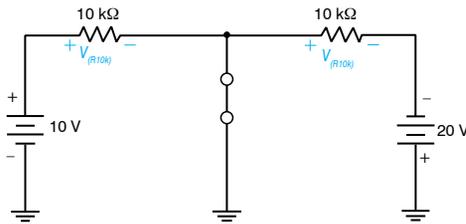
- Pela Lei de Ohm:

$$V_{(R1k\Omega)} = 1\,000 \cdot i = 1\,000 \cdot 6,19 \times 10^{-3} \Rightarrow V_{(R1k\Omega)} = 6,19 \text{ V}$$

$$V_{(R1,5k\Omega)} = 1\,500 \cdot i = 1\,500 \cdot 6,19 \times 10^{-3} \Rightarrow V_{(R1,5k\Omega)} = 9,28 \text{ V}$$

$$V_{(R4,7k\Omega)} = V_{(R2,35k\Omega)} = 2\,350 \cdot i = 2\,350 \cdot 6,19 \times 10^{-3} \Rightarrow V_{(R4,7k\Omega)} = 14,54 \text{ V}$$

d.

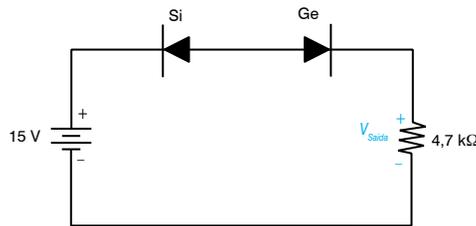


O diodo está diretamente polarizado e o resistor à esquerda está em paralelo com a fonte de 10 V.

$$V_{(10k\Omega)} = 10 \text{ V} \text{ (Resistor à esquerda)}$$

$$V_{(10k\Omega)} = 20 \text{ V} \text{ (Resistor à direita)}$$

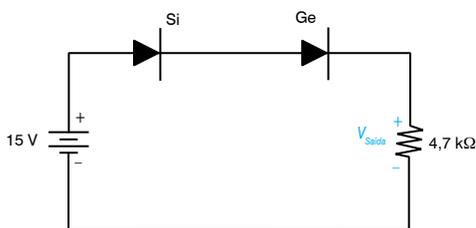
73) a.



O diodo está reversamente polarizado, a corrente do circuito é nula.

$$V_{Saída} = 0 \text{ V}$$

b.

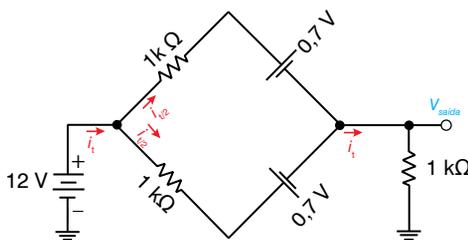


Os dois diodos estão em série e conduzem. Aplicando L. T. K. no circuito considerando que a queda de tensão sobre o diodo de silício seja de 0,7 V e sobre o diodo de germânio seja de 0,3 V, tem-se:

$$15 - 0,7 - 0,3 - V_{Saída} = 0 \Rightarrow$$

$$V_{Saída} = 15 - 1 \Rightarrow V_{Saída} = 14 \text{ V}$$

c.



Os dois diodos de silício estão diretamente polarizados.

Para resolver esse exercício, considere a figura ao lado onde os diodos de silício foram substituídos por uma bateria de 0,7 V.

Pela Lei das Correntes de Kirchhoff as correntes que chegam ao nó são iguais as que saem do nó. Portanto, nomeando a corrente que chega ao nó de  $i_T$ , pela L.T.K. em um dos ramos e considerando que essa corrente divide-se igualmente nos dois ramos em  $i_T/2$ , obtém-se:

$$12 - \left( \frac{1\,000i_T}{2} \right) - 0,1 - 1\,000i_T = 0 \Rightarrow$$

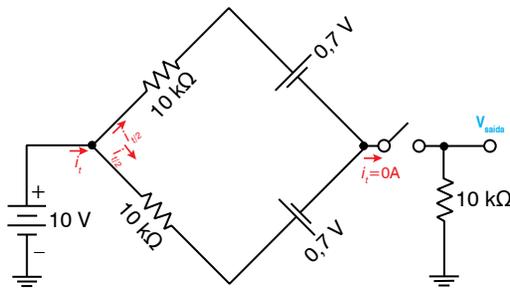
$$11,3 - 500i_T - 1\,000i_T = 0 \Rightarrow$$

$$11,3 - 1\,500i_T = 0 \Rightarrow i_T = \frac{11,3}{1\,500} \Rightarrow \boxed{i_T = 7,53 \text{ mA}}$$

A tensão de saída, pela Lei de Ohm é dada por:

$$V_{Saída} = 1\,000i_T \Rightarrow V_{Saída} = 1\,000 \cdot 7,53 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{Saída} = 7,53 \text{ V}}$$

d)



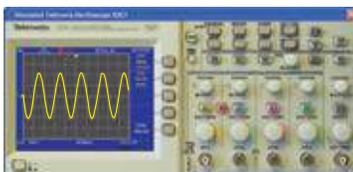
Os dois primeiros diodos de silício estão diretamente polarizados, entretanto o diodo da extremidade direita está reversamente polarizado, bloqueando a passagem da corrente elétrica. Isso fará com que a queda de tensão no resistor de saída seja nula.

$$\boxed{V_{Saída} = 0 \text{ V}}$$

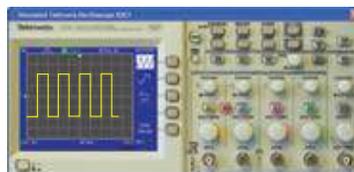
## Capítulo 2

### Respostas – página 76

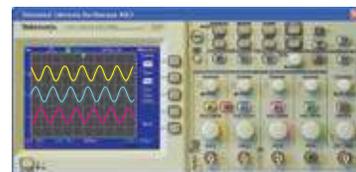
- 1) Os três sinais foram lidos utilizando um osciloscópio digital, conforme figuras mostradas na sequência.



(a) Primeira leitura



(b) Segunda leitura



(c) Terceira leitura

a.  $V_{ef} = 150 \text{ V}$

$$T = 100 \text{ ms}$$

$$V_{pico} = V_{ef} \sqrt{2} \Rightarrow V_{pico} = 150 \sqrt{2} = \boxed{V_{pico} = 212,13 \text{ V}}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow f = \frac{1}{100 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{f = 10 \text{ Hz}}$$

Como a frequência é igual a 10 Hz, podemos afirmar que esse sinal tem 10 ciclos por segundo.

b.  $V_{pico} = 10 \text{ V}; f = 500 \text{ Hz}$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{500} \Rightarrow \boxed{T = 2 \text{ ms}}$$

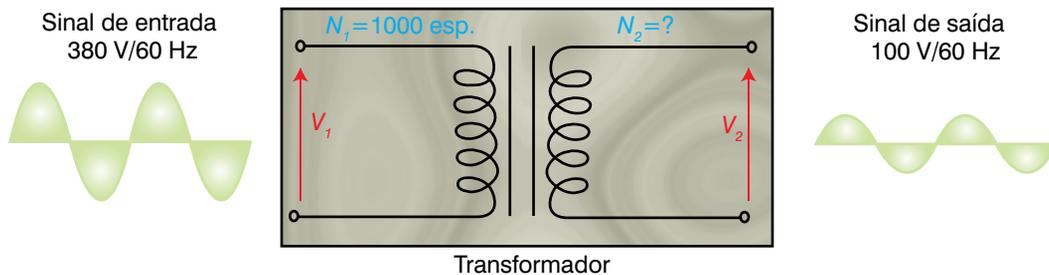
c.  $V_{pp} = 10 \text{ V}$  (tensão de pico a pico); 120 ciclos por segundo.

$$V_p = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{10}{2} \Rightarrow \boxed{V_p = 5 \text{ V}}$$

Como são 120 ciclos/segundo, tem-se  $\boxed{f = 120 \text{ Hz}}$

$$T = \frac{1}{f} \Rightarrow T = \frac{1}{120} \Rightarrow \boxed{T = 8,33 \text{ ms}}$$

- 2) Sabendo-se que a tensão do primário vale 380 V e que a tensão do secundário vale 100 V, pode-se afirmar que este é um transformador abaixador de tensão. Dessa forma, pode-se ainda afirmar que o número de espiras do secundário é menor que o do primário. De posse da figura mostrada na sequência, podemos obter:



$$V_1 = 380 \text{ V}$$

$$V_2 = 100 \text{ V}$$

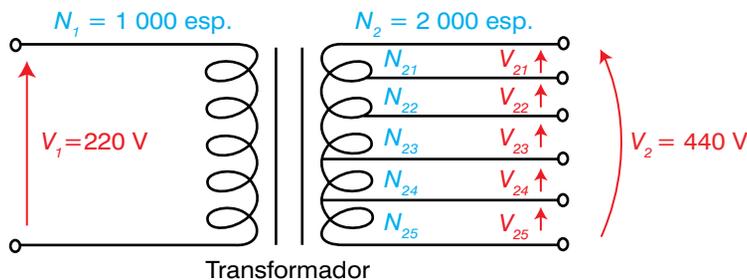
$$N_1 = 1\,000 \text{ espiras}$$

$$N_2 = ?$$

Portanto:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{380}{100} = \frac{1\,000}{N_2} \Rightarrow \boxed{N_2 \cong 263 \text{ espiras}}$$

- 3) De posse da figura a seguir, pode-se calcular:



$$V_1 = 220 \text{ V}$$

$$V_2 = 440 \text{ V}$$

$$N_1 = 1\,000 \text{ espiras}$$

$$N_2 = 2\,000 \text{ espiras}$$

$$N_{21} = N_{22} = N_{23} = N_{24} = N_{25}$$

$$V_{21} = V_{22} = V_{23} = V_{24} = V_{25}$$

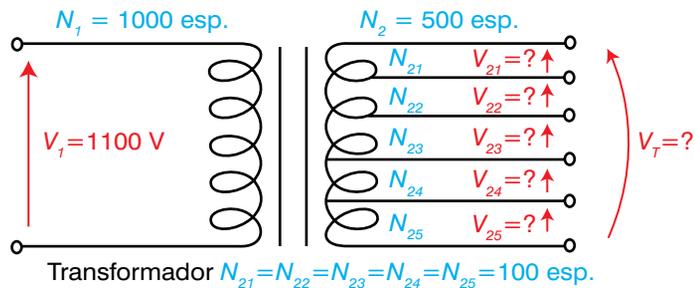
Portanto:

$$N_{21} = N_{22} = N_{23} = N_{24} = N_{25} = \frac{N_{22}}{5} = \frac{2\,000}{5} = \boxed{400 \text{ espiras}}$$

mesma forma:

$$V_{21} = V_{22} = V_{23} = V_{24} = V_{25} = \frac{V_2}{5} = \frac{440}{5} = \boxed{88 \text{ Volts}}$$

4)



$$\frac{V_1}{V_T} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{1\,100}{V_T} = \frac{1\,000}{500} \Rightarrow \boxed{V_T = 500 \text{ V}}$$

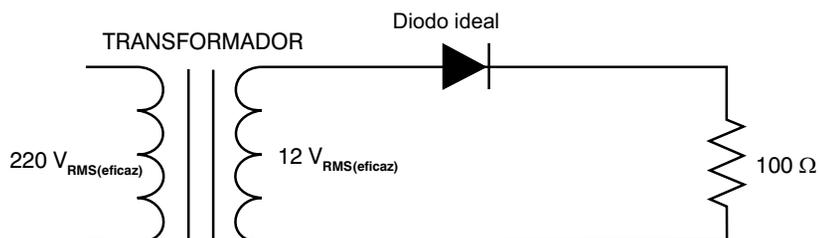
$$N_{21} = N_{22} = N_{23} = N_{24} = N_{25} = 100 \text{ espiras}$$

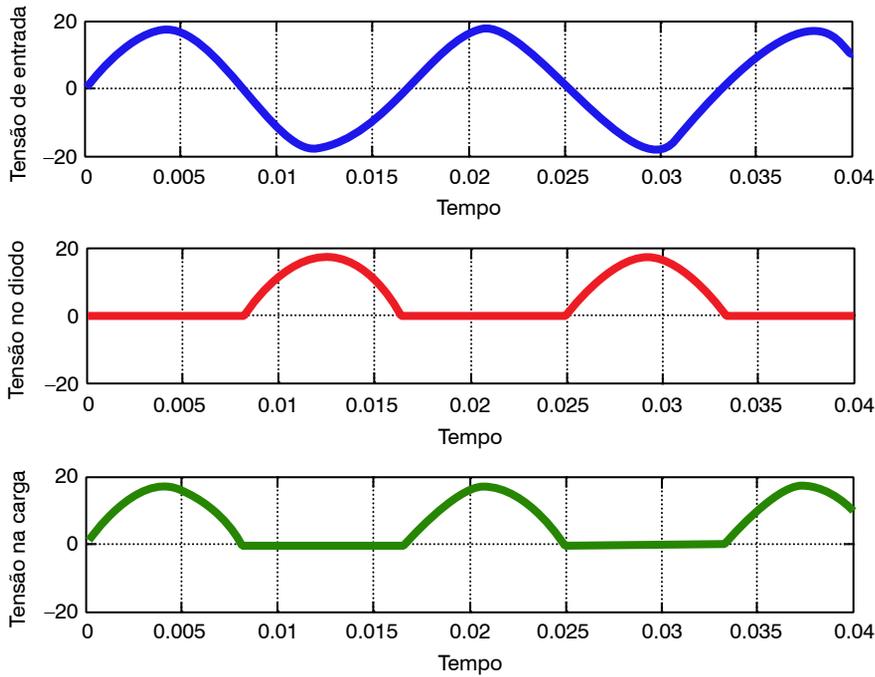
Portanto:

$$V_{21} = V_{22} = V_{23} = V_{24} = V_{25} = \frac{500}{5} \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{21} = V_{22} = V_{23} = V_{24} = V_{25} = 110 \text{ V}}$$

- 5) **a., b. e c.** A tensão do secundário do transformador é mostrada na cor azul, a tensão no diodo na cor vermelha e a tensão na carga na cor verde. No semiciclo positivo do sinal de entrada, o diodo conduz, tornando-se um curto-circuito com tensão nula. Nesse semiciclo, toda a tensão de entrada aparece sob a carga já que a tensão sobre o diodo é igual a zero. Já no semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo “bloqueia” a passagem de corrente, tornando-se reversamente polarizado. Nesse instante, a tensão de entrada aparece inversamente sobre o diodo e a tensão da carga torna-se nula.

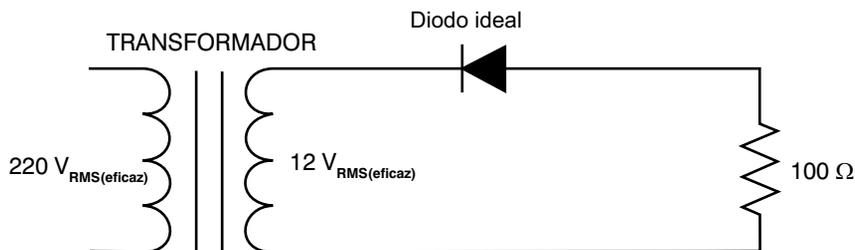


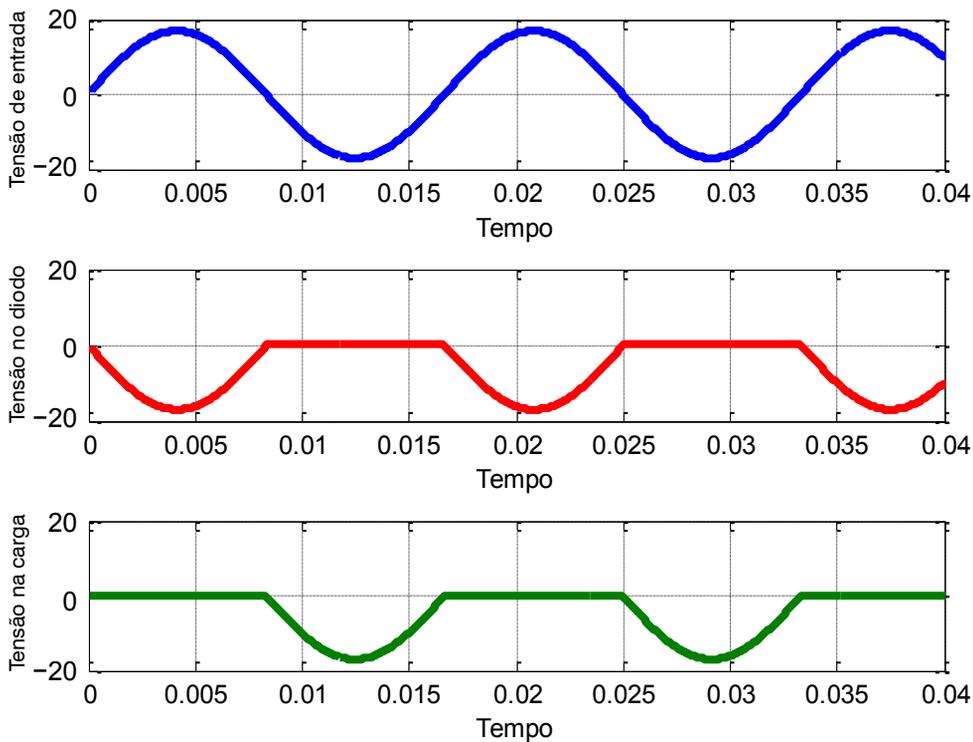


d. Basicamente, a única vantagem de utilizar um retificador de meia-onda no lugar de um retificador de onda completa são os custos, oriundos da utilização de apenas um diodo nos retificadores de meia-onda.

6) Considerando-se que o diodo seja ideal, não existe queda de tensão sobre ele quando o mesmo conduz. A forma de onda no secundário do transformador é representada na cor azul no gráfico a seguir. A tensão sobre o diodo é mostrada na cor vermelha. É importante observar que, no semiciclo positivo da tensão de entrada, o diodo torna-se reversamente polarizado (não conduz), e assim toda a tensão do secundário aparece inversamente sobre o diodo. No semiciclo negativo da tensão de entrada o diodo está diretamente polarizado, tornando-se um curto-circuito e, portanto, a tensão sobre ele é nula. A tensão na carga é ilustrada na cor verde. Com o diodo inicialmente “aberto” não há corrente circulando na carga e, dessa forma a tensão na carga também é nula. Quando o diodo passa a conduzir, no semiciclo negativo do sinal de entrada, surge tensão na carga. As respostas para os itens **a** e **b** são visualizados nos gráficos.

a e b.



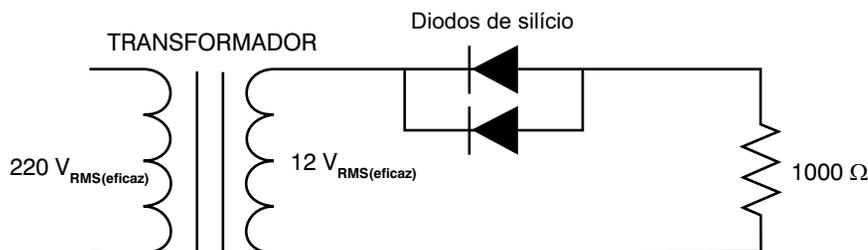


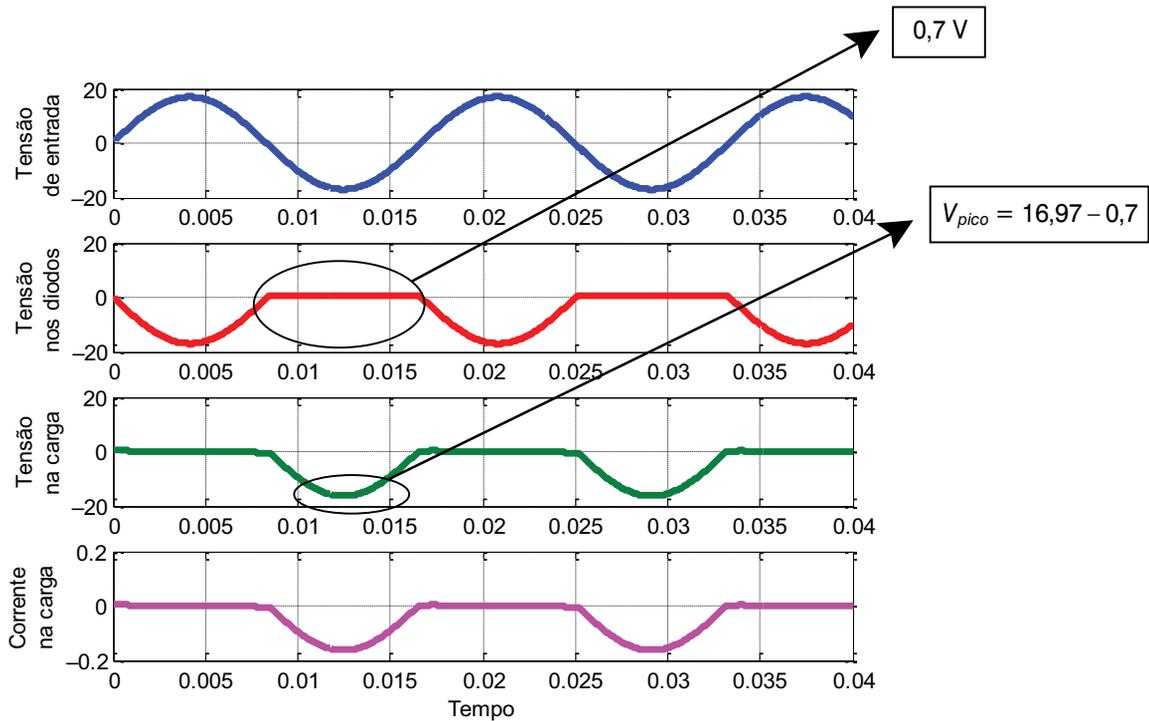
$$c. V_{m\acute{e}dia} = \frac{(V_{pico})}{\pi} \cong \frac{(16,97)}{3,1416} \cong \boxed{5,4 \text{ V}}$$

- 7) Como os dois diodos de silício estão em paralelo, a tensão sobre ambos é idêntica e é representada na cor vermelha no gráfico a seguir. A forma de onda de tensão na carga está representada na cor verde no gráfico a seguir. A corrente na carga foi esboçada na cor magenta. É importante observar que os diodos não conduzem no semiciclo positivo da tensão de entrada e sim no semiciclo negativo. Portanto, aparecem tensão e corrente na carga apenas no semiciclo negativo do sinal senoidal da tensão de entrada. O gráfico mostrado na sequência representa as respostas para os itens **a**, **b** e **d**. A resposta para o item “c” será:

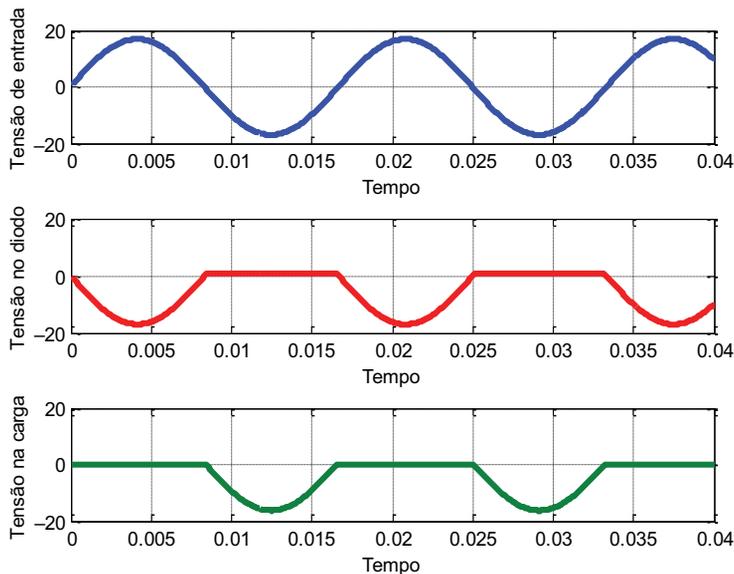
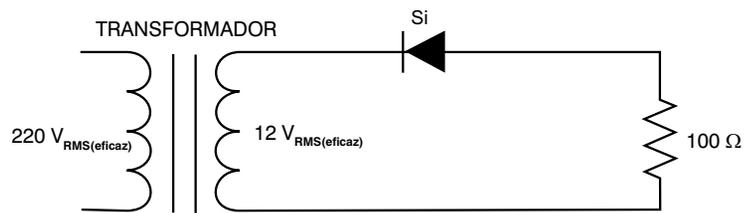
$$c. V_{m\acute{e}dia} = \frac{(V_{pico} - 0,7)}{\pi} \cong \frac{(16,97 - 0,7)}{3,1416} \cong \boxed{-5,18 \text{ V}}$$

a. b. e d.



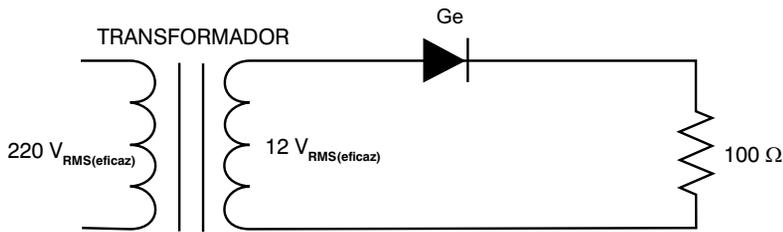


- 8) A forma de onda no secundário do transformador é senoidal, e seu valor de pico é:  $V_{pico} = V_{eficaz} \sqrt{2} = 12\sqrt{2} = 16,97 \text{ V}$ . Essa forma de onda é representada na cor azul no gráfico a seguir. Os itens **b** e **c** da questão nº 8 estão também representados no gráfico. Na cor vermelha é representada a forma de onda de tensão sobre o diodo. Finalmente, o último gráfico na cor verde representa a forma de onda de tensão na carga.

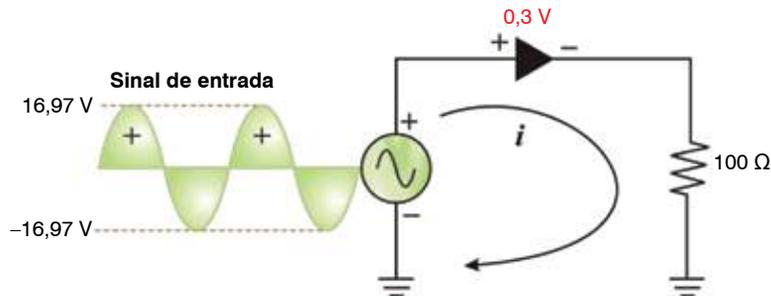


$$c. V_{m\u00e9dia} = \frac{(V_{pico} - 0,3)}{\pi} \cong \frac{(16,97 - 0,7)}{3,1416} \cong \boxed{5,18 \text{ V}}$$

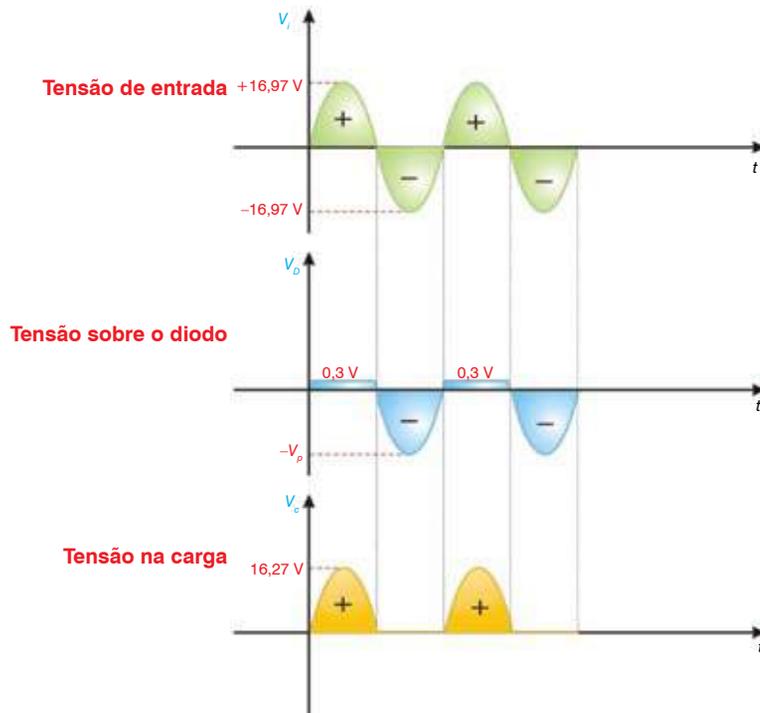
9)



A tensão de pico no secundário do transformador será:  $V_{pico} = V_{eficaz} \sqrt{2} = 12\sqrt{2} = 16,97 \text{ V}$ . De posse do valor de pico da tensão no secundário do “trafo” obtém-se as tensões sobre o diodo e também sobre o resistor de carga. O secundário do transformador pode ser substituído por uma fonte senoidal, conforme mostrado na figura a seguir.



a. e b. A figura mostrada na sequência representa as formas de onda de entrada, no secundário do transformador, a tensão sobre o diodo e ainda a forma de onda de tensão na carga. Portanto, respondendo aos itens **a** e **b** da questão nº 9.



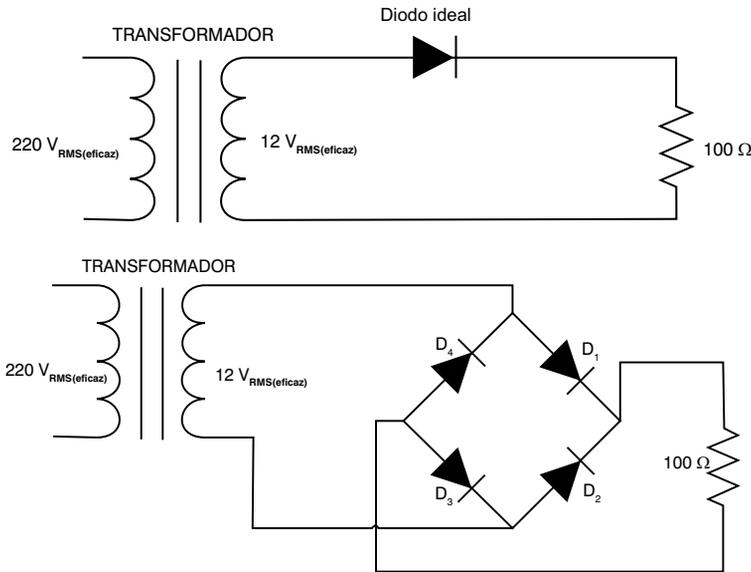
$$c. V_{média} = \frac{(V_{pico} - 0,3)}{\pi} \cong \frac{(16,97 - 0,3)}{3,1416} \cong \boxed{5,3 \text{ V}}$$

d. Basicamente, a única vantagem de utilizar um retificador de meia-onda no lugar de um retificador de onda completa são os custos, oriundos da utilização de apenas um diodo nos retificadores de meia-onda.

# Capítulo 3

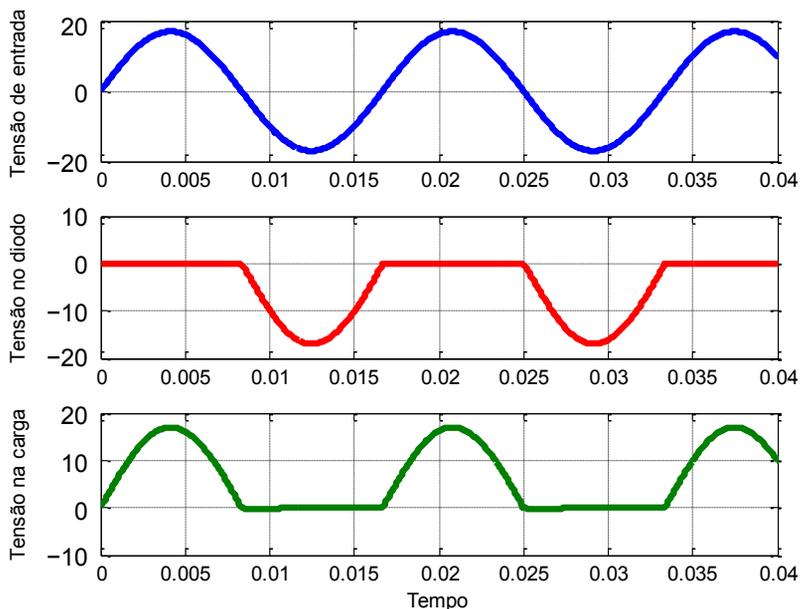
## Respostas – página 106

1)



### Resultados para o Retificador de 1/2 Onda

a. e b. As tensões de entrada, sobre o diodo e sobre a carga, são representadas nos gráficos a seguir nas cores azul, vermelha e verde. Inicialmente, o diodo está diretamente polarizado, fazendo com que a tensão sobre ele seja nula. Nesse mesmo instante, como o diodo conduz, comportando-se como uma chave fechada, haverá corrente circulando na carga e a tensão sobre o resistor de carga será idêntica à entrada (tensão em verde). No próximo semiciclo, o diodo passa a estar reversamente polarizado. Com isso, a tensão sobre ele é igual à do secundário do transformador. A tensão na carga, devido à corrente nula, também será igual a zero nesse instante.



- c. Considerando-se que o diodo seja ideal, a tensão média na carga para o retificador de meia-onda é calculada da forma:

$$V_{\text{média}} = \frac{(V_{\text{pico}})}{\pi} \cong \frac{(16,97)}{3,1416} \cong \boxed{5,4 \text{ V}}$$

- d. São várias as vantagens de utilização de um retificador de onda completa comparado a um retificador de meia-onda, destacando-se:
- Os retificadores de onda completa possuem uma tensão na carga menos oscilante. Com isso, as cargas alimentadas com esse tipo de tensão comportam-se melhor.
  - A frequência da tensão na carga para os retificadores de onda completa é de 120 Hz, enquanto para os de meia-onda essa frequência de oscilação é de 60 Hz. Esse aspecto faz com que a tensão média na carga para os retificadores de onda completa seja o dobro daquela apresentada pelos retificadores de meia-onda.

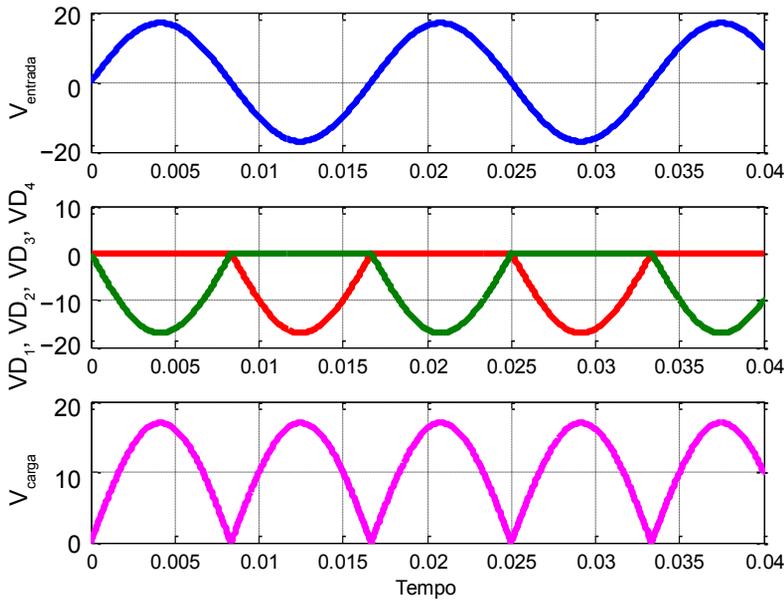
### Resultados para o Retificador de Onda Completa

- a. e b. A seguir são mostradas as formas de onda de tensão de entrada (em azul), tensão nos diodos  $D_1$  e  $D_3$  ( $VD_1$  e  $VD_3$ ) e nos diodos 2 e 4 ( $VD_2$  e  $VD_4$ ) (em vermelho e verde) e tensão na carga (na cor magenta). No semiciclo positivo do sinal de entrada, os diodos “1” e “3” conduzem, enquanto os diodos “2” e “4” estão reversamente polarizados. Com isso, a tensão  $VD_1$  e  $VD_3$  é nula e as tensões  $VD_2$  e  $VD_4$  são idênticas à tensão do primário do trafo em amplitude, mas com sinal invertido. A tensão da carga, nesse momento, é igual à de entrada do transformador.

Quando a tensão do secundário do trafo passa para o semiciclo negativo, os diodos “2” e “4” passam a conduzir, enquanto os diodos “1” e “3” agora estão reversamente polarizados. Nesse instante, observa-se que a tensão sobre os diodos “2” e “4” é nula, devido à condução, enquanto a tensão do secundário do trafo aparece sobre os diodos “1” e “3”.

A tensão na carga é um “retrato” da tensão sobre os diodos “1” e “3”, apenas com polaridade invertida. É importante observar que nos retificadores de onda completa em ponte, sempre há dois diodos conduzindo ao mesmo tempo e, geralmente essa condução se dá de forma alternada.

No caso desse circuito específico, isso significa que “hora” os diodos  $D_1$  e  $D_3$  conduzem, “hora” são os diodos  $D_2$  e  $D_4$  que passam a conduzir, fazendo com que sempre haja condução de corrente na carga, diferente dos retificadores de meia-onda que, hora passa corrente na carga e hora não passa.

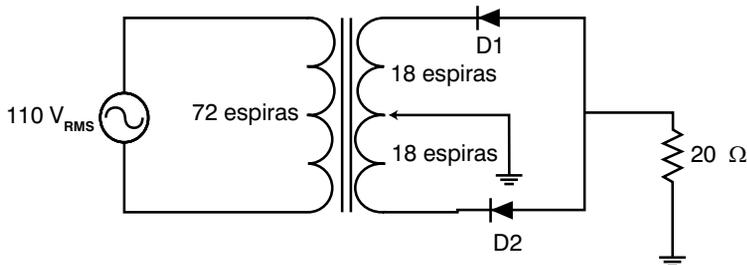


- c. Considerando-se que o diodo seja ideal, a tensão média na carga para o retificador de onda completa é calculada da forma:

$$V_{\text{média}} = \frac{(2 \times V_{\text{pico}})}{\pi} \cong \frac{(2 \times 16,97)}{3,1416} \cong \boxed{10,8 \text{ V}}$$

- d. Respondido anteriormente.

2)



- a. A tensão total de pico no secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_2} = \frac{72}{36} \Rightarrow V_2 = \frac{110 \times 36}{72} \Rightarrow \boxed{V_2 = 55 \text{ V (RMS)}}$$

O valor do pico será:

$$V_{2(\text{pico})} = V_{2\text{RMS}} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2(\text{pico})} = 55 \times \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{V_{2(\text{pico})} = 77,78 \text{ V}}$$

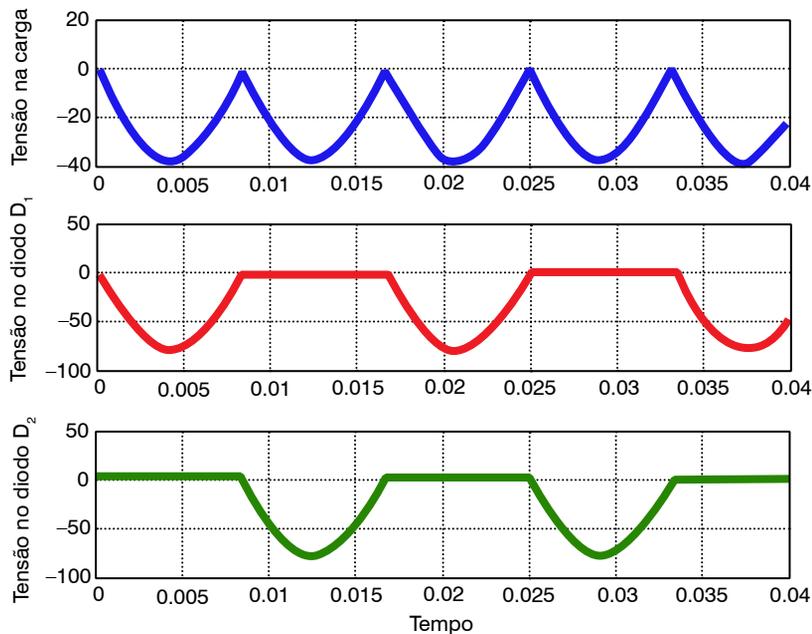
- b. A tensão total de pico em cada um dos “taps” do secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência. Nesse exercício estamos nomeando a tensão do “tap” superior de  $V_{2a}$  e a tensão do “tap” inferior de  $V_{2b}$ .

$$\frac{V_1}{V_{2a}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_{2a}} = \frac{72}{18} \Rightarrow V_{2a} = \frac{110 \times 18}{72} \Rightarrow \boxed{V_{2a} = 27,5 \text{ V(RMS)}}$$

O valor do pico será:

$$V_{2a(\text{pico})} = V_{2a\text{RMS}} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2a(\text{pico})} = 27,5 \times \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{V_{2a(\text{pico})} = 38,89 \text{ V} = V_{2b(\text{pico})}}$$

- c. e f. A forma de onda sobre o resistor de  $20 \Omega$  é mostrada na sequência na cor azul. O valor de pico da onda de tensão na carga é de  $-38,89$  Volts. A tensão sobre o diodo 1 ( $D_1$ ) é mostrada na cor vermelha. Num primeiro instante, o diodo  $D_1$  não está conduzindo e, portanto, a tensão sobre ele será toda a tensão do secundário do trafo ( $-77,78$  V). Nesse mesmo instante, o diodo  $D_2$  encontra-se diretamente polarizado. Com a condução, a tensão sobre ele é praticamente nula, conforme figura na cor verde mostrada na sequência. No próximo semiciclo, o diodo  $D_1$  passa a conduzir fazendo com que a tensão sobre ele passe a ser nula. Quando  $D_1$  conduz o diodo  $D_2$  “abre”, fazendo com que a tensão sobre ele seja toda a tensão referente ao secundário do transformador.



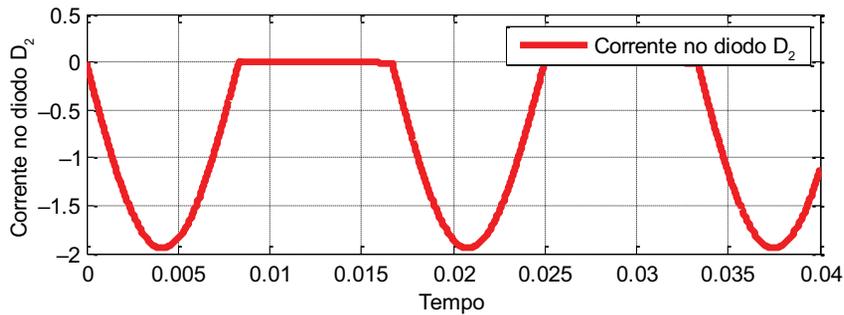
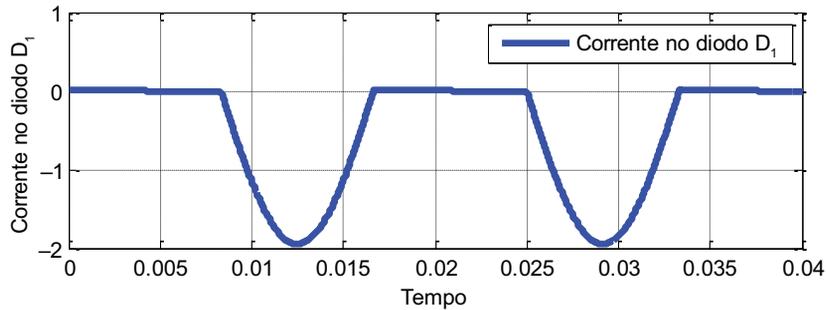
- d. As formas de onda de corrente nos diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas na sequência, sendo a azul no diodo  $D_1$  e a vermelha no diodo  $D_2$ . É possível observar pelas figuras apresentadas que a corrente de pico em cada diodo ultrapassa  $-2$  A (menos dois ampères). Esse valor pode ser comprovado conforme expressão mostrada na sequência.

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_1$ :

$$i_{D1(Pico)} = \frac{V_{Pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-38,89}{20} \Rightarrow \boxed{i_{D1(Pico)} = -1,94 \text{ A}}$$

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_2$ :

$$i_{D2(Pico)} = \frac{V_{Pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-38,89}{20} \Rightarrow \boxed{i_{D2(Pico)} = -1,94 \text{ A}}$$



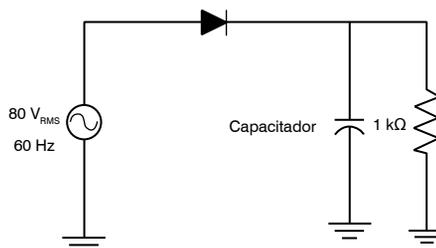
- e. A tensão de pico inversa (PIV) para cada diodo do retificador de onda completa com transformador de tomada central (“tap” central) é exatamente o dobro da tensão disponível em cada “tap” do trafo. Sabendo-se disso, pode-se obter a tensão de pico em cada diodo da forma:

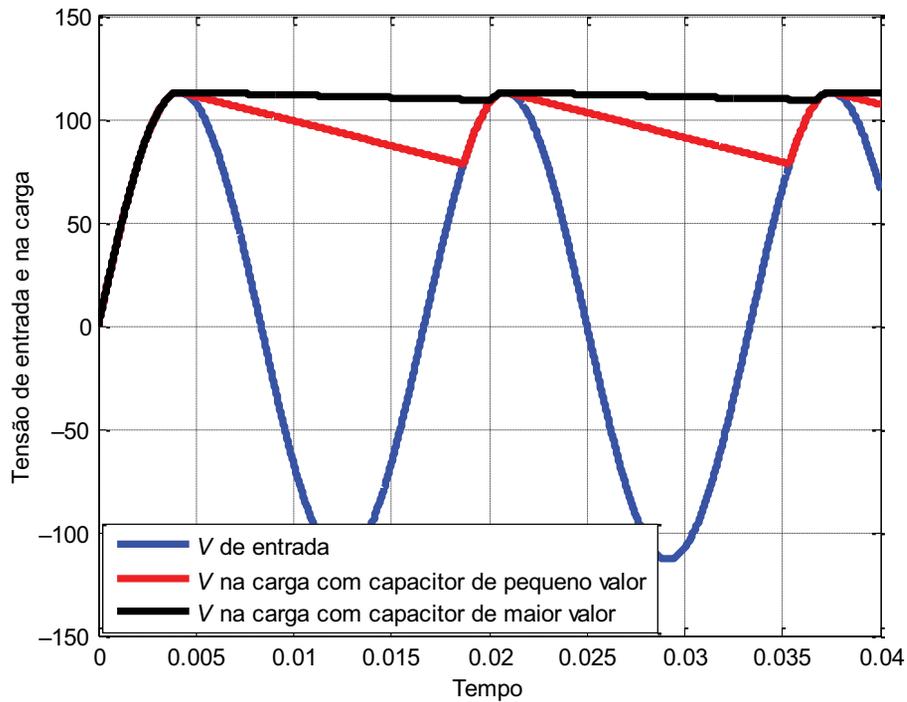
Cálculo do valor de pico da tensão sobre diodos  $D_1$  e  $D_2$ :

$$V_{D1(pico)} = V_{D2(pico)} = 2 \times 38,39 \Rightarrow V_{D1(pico)} = V_{D2(pico)} = 77,78 \text{ V}$$

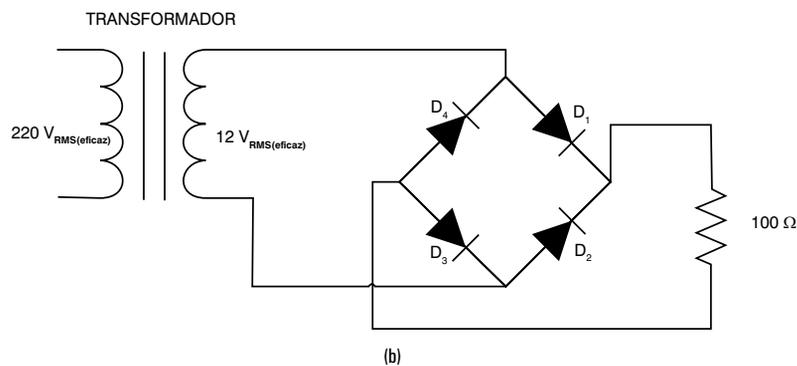
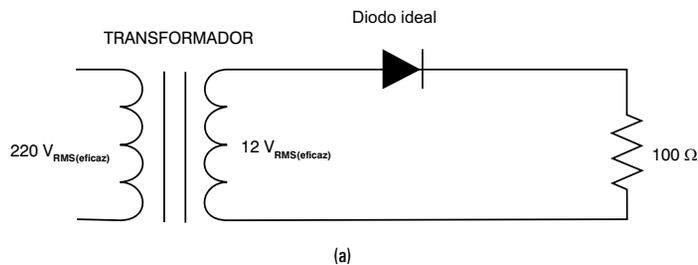
Visualmente, as formas de onda de tensão de pico sobre os diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas anteriormente no item **c** e **f**.

- 3) Conforme a disposição no circuito, o diodo irá conduzir no semiciclo positivo da tensão de entrada, fazendo com que o capacitor “carregue” com o valor máximo da tensão de entrada. Logo em seguida, quando a tensão de entrada torna-se ligeiramente menor que a do capacitor, começa seu estágio de “descarregamento” sobre o resistor de carga. No exercício, não foi fornecido um valor para a capacitância do capacitor. Pode-se afirmar que quanto maior o valor dessa capacitância, menores serão as oscilações de tensão na carga, ou seja, menos ondulante será essa tensão. A seguir, são mostradas as formas de onda para a tensão de entrada (azul) e tensão na carga para dois valores de capacitâncias, sendo a de cor vermelha para uma capacitância de baixo valor e a de cor preta para uma capacitância maior.



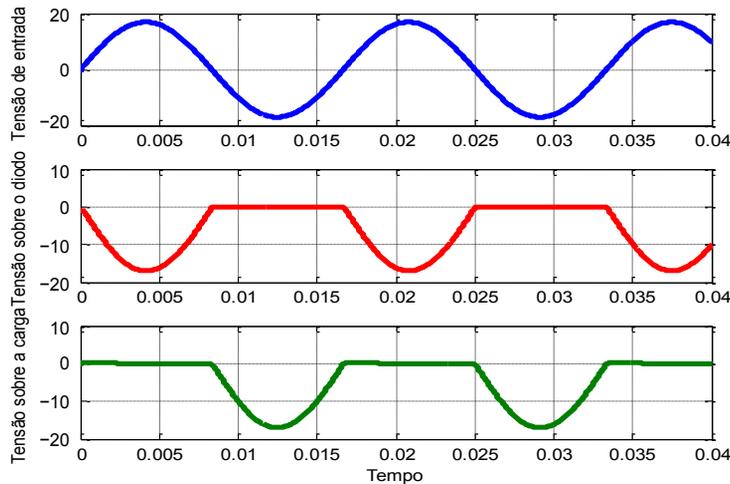


4)



### Resultados para o Retificador de ½ Onda

- a. e b. As tensões de entrada, sobre o diodo e sobre a carga são representadas nos gráficos a seguir nas cores azul, vermelha e verde. Inicialmente, o diodo está reversamente polarizado, fazendo com que toda a tensão disponível no secundário do transformador esteja sobre o diodo (tensão em azul). Nesse mesmo instante, como não há corrente circulando na carga, a tensão sobre o resistor de carga é também nula (tensão em vermelho). No próximo semiciclo, o diodo passa a conduzir. Com isso, a tensão sobre ele é nula e, dessa forma, a tensão do secundário do trafo surge sobre a carga.



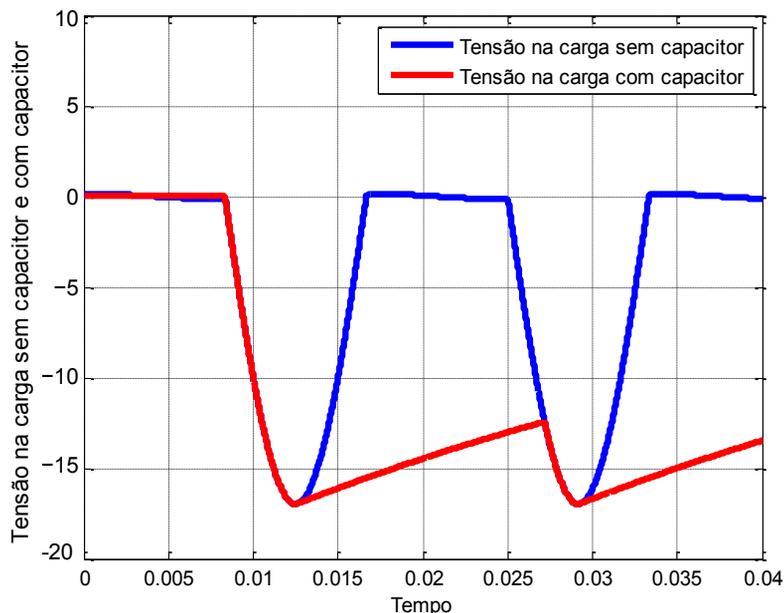
c. Considerando-se que o diodo seja ideal, a tensão média na carga para o retificador de meia-onda é calculada da forma:

$$V_{\text{média}} = \frac{(V_{\text{Pico}})}{\pi} \cong \frac{(16,97)}{3,1416} \cong \boxed{5,4 \text{ V}}$$

d. São várias as vantagens de utilização de um retificador de onda completa comparado a um retificador de meia-onda, destacando-se:

- Os retificadores de onda completa possuem uma tensão na carga menos oscilante. Com isso, as cargas alimentadas com esse tipo de tensão comportam-se melhor.
- A frequência da tensão na carga para os retificadores de onda completa é de 120 Hz, enquanto para os retificadores de meia-onda essa frequência de oscilação é de 60 Hz. Esse aspecto faz com que a tensão média na carga para os retificadores de onda completa seja o dobro daquela apresentada pelos retificadores de meia-onda.

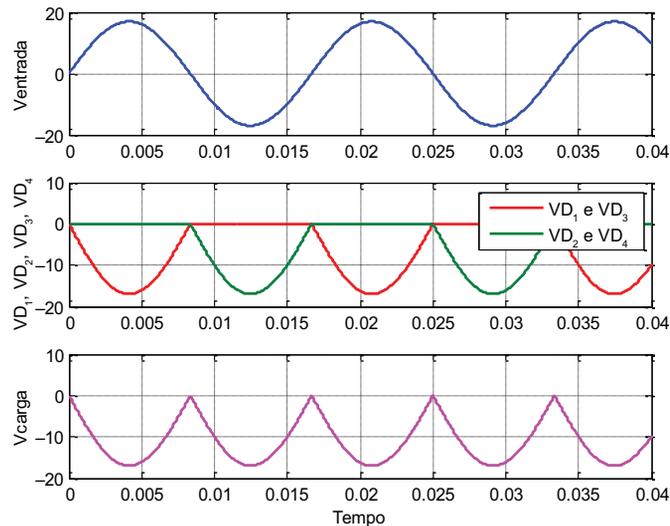
e. A tensão na carga, considerando-se um retificador de meia-onda, inserindo um capacitor de filtro em paralelo com o resistor de carga é mostrada na sequência. É mostrada a forma de onda sem o uso do capacitor de filtro (em azul) e, no mesmo gráfico, é mostrada a forma de onda após a inserção de um capacitor (em vermelho). Observa-se que aquelas indesejáveis oscilações proveniente do sistema sem o uso do “filtro” são praticamente eliminadas com a introdução do capacitor.



## Resultados para o Retificador de Onda Completa

- a. e b. A seguir são mostradas as formas de onda de tensão de entrada (em azul), tensão nos diodos  $D_1$  e  $D_3$  ( $VD_1$  e  $VD_3$ ) e nos diodos 2 e 4 ( $VD_2$  e  $VD_4$ ) (em vermelho e verde) e tensão na carga (na cor magenta). No semiciclo positivo do sinal de entrada, os diodos “2” e “4” conduzem, enquanto os diodos “1” e “3” estão reversamente polarizados. Com isso, a tensão  $VD_2$  e  $VD_4$  é nula e as tensões  $VD_1$  e  $VD_3$  são idênticas à tensão do primário do trafo em amplitude, mas com sinal invertido. A tensão da carga, nesse momento, é igual ao dos diodos  $D_1$  e  $D_3$ .

Quando a tensão do secundário do trafo passa para o semiciclo negativo, os diodos “1” e “3” passam a conduzir, enquanto os diodos “2” e “4” agora estão reversamente polarizados. Nesse instante, observa-se que a tensão sobre os diodos “1” e “3” é nula, devido à condução, enquanto a tensão do secundário do trafo aparece sobre os diodos “2” e “4”. A tensão na carga é um “retrato” da tensão sobre os diodos “2” e “4”. É importante observar que nos retificadores de onda completa em ponte, sempre há dois diodos conduzindo ao mesmo tempo e, geralmente, essa condução ocorre de forma alternada. No caso desse circuito específico, isso significa que ora os diodos  $D_1$  e  $D_3$  conduzem, ora são os diodos  $D_2$  e  $D_4$  que passam a conduzir.

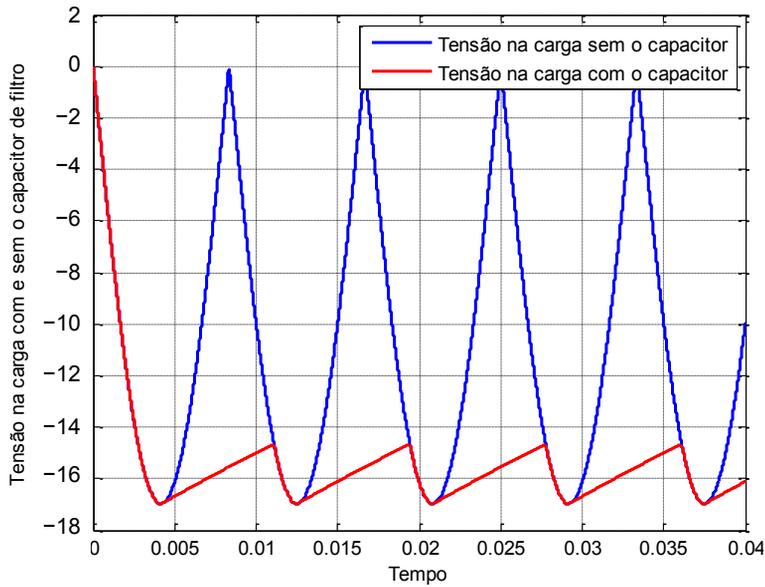


- c. Considerando-se que o diodo seja ideal, a tensão média na carga para o retificador de onda completa é calculada da forma:

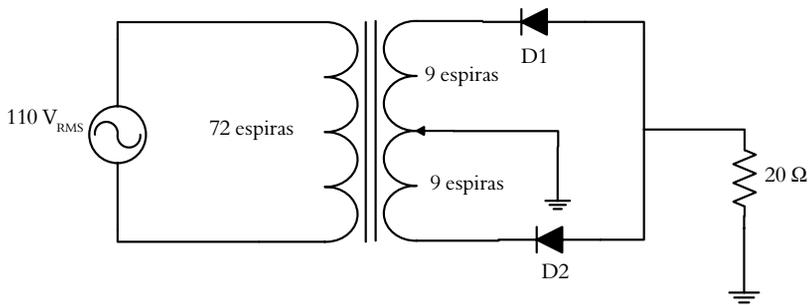
$$V_{\text{média}} = \frac{(2 \times V_{\text{pico}})}{\pi} \cong \frac{(2 \times 16,97)}{3,1416} \cong \boxed{10,8 \text{ V}}$$

- d. Respondido anteriormente.

- e. A tensão na carga, considerando-se um retificador de onda completa, inserindo um capacitor de filtro em paralelo com o resistor de carga é mostrada na sequência. É mostrada a forma de onda sem o uso do capacitor de filtro (em azul) e, no mesmo gráfico, é mostrada a forma de onda após a inserção de um capacitor (em vermelho). Observa-se que aquelas indesejáveis oscilações provenientes do sistema sem o uso do “filtro” são praticamente eliminadas com a introdução do capacitor. A tensão na carga com o uso do retificador de onda completa com filtro capacitivo apresenta um número reduzido de oscilações comparadas àquelas apresentadas pelo retificador de meia-onda com filtro.



5)



- a. A tensão total de pico no secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_2} = \frac{72}{18} \Rightarrow \frac{110 \times 18}{72} \Rightarrow V_2 = 27,5 \text{ V(RMS)}$$

O valor de pico será:

$$V_{2(\text{pico})} = V_{2\text{Rms}} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2(\text{pico})} = 27,5 \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2(\text{pico})} = 38,89 \text{ V}$$

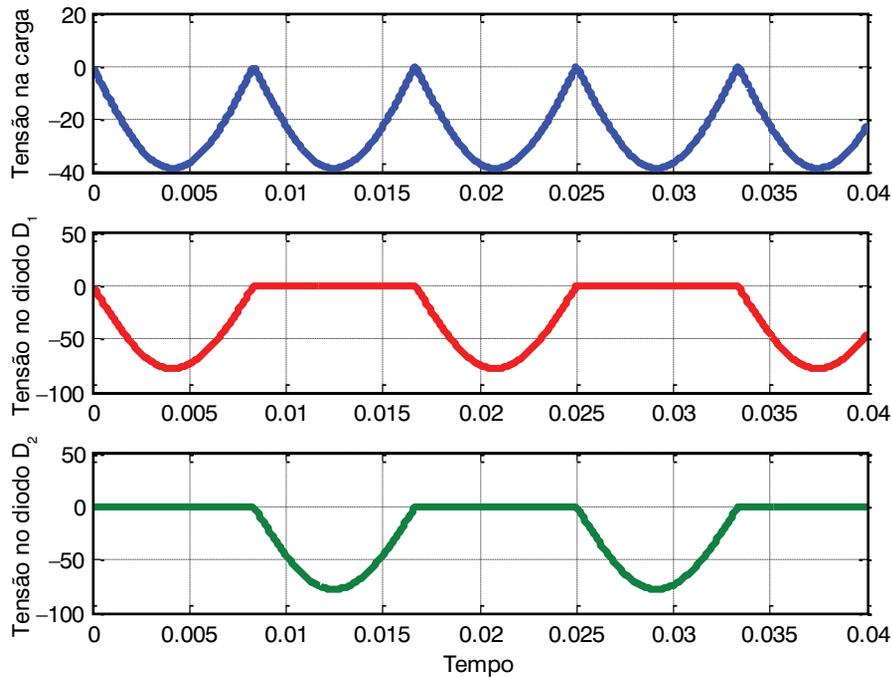
- b. A tensão total de pico em cada um dos “taps” do secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência. Nesse exercício, estamos nomeando a tensão do “tap” superior de  $V_{2a}$  e a tensão do “tap” inferior de  $V_{2b}$ .

$$\frac{V_1}{V_{2a}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_{2a}} = \frac{72}{9} \Rightarrow V_{2a} = \frac{110 \times 9}{72} \Rightarrow V_{2a} = 13,75 \text{ V(RMS)}$$

O valor de pico será:

$$V_{2a(\text{pico})} = V_{2a\text{RMS}} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2a(\text{pico})} = 13,75 \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2a(\text{pico})} = 19,44 \text{ V} = V_{2b(\text{pico})}$$

c. e f. A forma de onda sobre o resistor de  $20 \Omega$  é mostrada na sequência na cor azul. O valor de pico da onda de tensão na carga é de  $19,44$  Volts. A tensão sobre o diodo 1 ( $D_1$ ) é mostrada na cor vermelha. Num primeiro instante, o diodo  $D_1$  não está conduzindo e, portanto, a tensão sobre ele será toda a tensão do secundário do trafo ( $-38,89$  V). Nesse mesmo instante o diodo  $D_2$  encontra-se diretamente polarizado. Com a condução, a tensão sobre ele é praticamente nula, conforme a figura na cor verde mostrada na sequência. No próximo semiciclo o diodo  $D_1$  passa a conduzir fazendo com que a tensão sobre ele passe a ser nula. Quando  $D_1$  conduz o diodo  $D_2$  “abre”, fazendo com que a tensão sobre ele seja toda a tensão referente ao secundário do transformador.



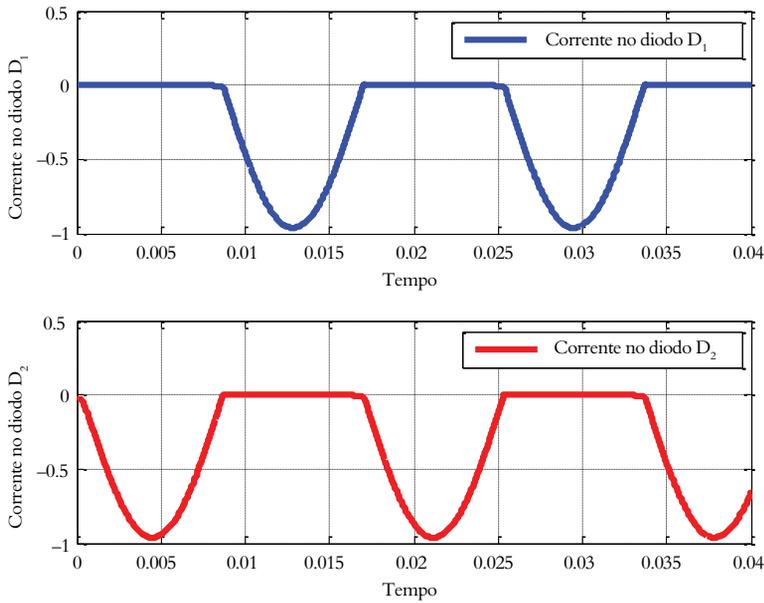
d. As formas de onda de corrente nos diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas na sequência, sendo a azul no diodo  $D_1$  e a vermelha no diodo  $D_2$ . É possível observar pelas figuras apresentadas que a corrente de pico em cada diodo chega a quase  $-1$ A (menos um ampère). Esse valor pode ser comprovado conforme expressão mostrada na sequência.

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_1$ :

$$i_{D1(Pico)} = \frac{V_{pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-19,44}{20} \Rightarrow \boxed{i_{D1(Pico)} = -0,972 \text{ A}}$$

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_2$ :

$$i_{D2(Pico)} = \frac{V_{pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-19,44}{20} \Rightarrow \boxed{i_{D2(Pico)} = -0,972 \text{ A}}$$



- e. A tensão de pico inversa (PIV) para cada diodo do retificador de onda completa com transformador de tomada central (“tap” central) é exatamente o dobro da tensão disponível em cada “tap” do trafo. Sabendo-se disso, pode-se obter a tensão de pico em cada diodo da forma:

Cálculo do valor de pico da tensão sobre os diodos  $D_1$  e  $D_2$ :

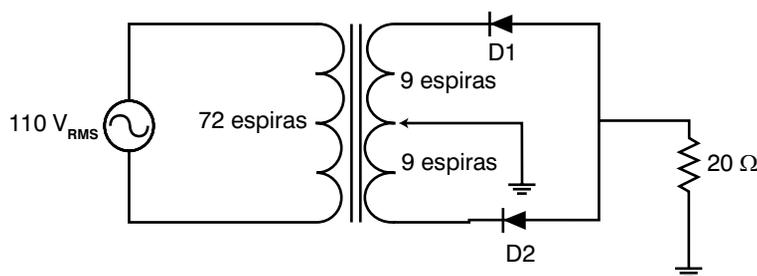
$$V_{D1(Pico)} = V_{D2(Pico)} = -2 \times 19,44 \Rightarrow V_{D1(Pico)} = V_{D2(Pico)} = -38,88 \text{ V}$$

Visualmente, as formas de onda de tensão de pico sobre os diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas anteriormente no item **c** e **f**.

6) **Professor:**

**Aonde se lê:** A tensão no primário do transformador da figura 3.37 é de  $80 V_{RMS}$  (eficaz) na frequência de 60 Hz.

**Leia-se:** A tensão no primário do transformador da figura 3.36 é de  $110 V_{RMS}$  (eficaz) na frequência de 60 Hz.



- a. A tensão total de pico no secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_2} = \frac{72}{18} \Rightarrow V_2 = \frac{110 \times 18}{72} \Rightarrow \boxed{V_2 = 27,5 \text{ V (RMS)}}$$

O valor de pico será:

$$V_{2(Pico)} = V_{2RMS} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2(Pico)} = 27,5 \times \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{V_{2(Pico)} = 38,89 \text{ V}}$$

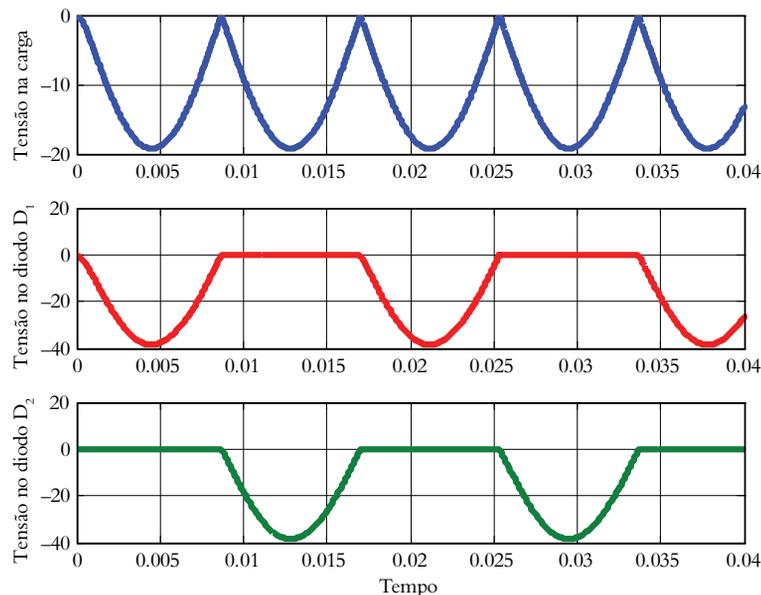
- b. A tensão total de pico em cada um dos “taps” do secundário do trafo é obtida conforme expressão mostrada na sequência. Nesse exercício estamos nomeando a tensão do “tap” superior de  $V_{2a}$  e a tensão do tap inferior de  $V_{2b}$ .

$$\frac{V_1}{V_{2a}} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{110}{V_{2a}} = \frac{72}{9} \Rightarrow V_{2a} = \frac{110 \times 9}{72} \Rightarrow \boxed{V_{2a} = 13,75 \text{ V (RMS)}}$$

O valor de pico será:

$$V_{2a(Pico)} = V_{2aRMS} \times \sqrt{2} \Rightarrow V_{2a(Pico)} = 13,75 \times \sqrt{2} \Rightarrow \boxed{V_{2a(Pico)} = 19,44 \text{ V} = V_{2b(Pico)}}$$

- c. e f. A forma de onda sobre o resitor de  $20 \Omega$  é mostrada na sequência na cor azul. O valor de pico da onda de tensão na carga é de 19,44 Volts. A tensão sobre o diodo 1 ( $D_1$ ) é mostrada na cor vermelha. Num primeiro instante o diodo  $D_1$  não está conduzindo e, portanto, a tensão sobre ele será toda a tensão do secundário do trafo ( $-38,89 \text{ V}$ ). Nesse mesmo instante o diodo  $D_2$  encontra-se diretamente polarizado. Com a condução, a tensão sobre ele é praticamente nula, conforme figura na cor verde mostrada na sequência. No próximo semiciclo o diodo  $D_1$  passa a conduzir fazendo com que a tensão sobre ele passe a ser nula. Quando  $D_1$  conduz o diodo  $D_2$  “abre”, fazendo com que a tensão sobre ele seja toda a tensão referente ao secundário do transformador.



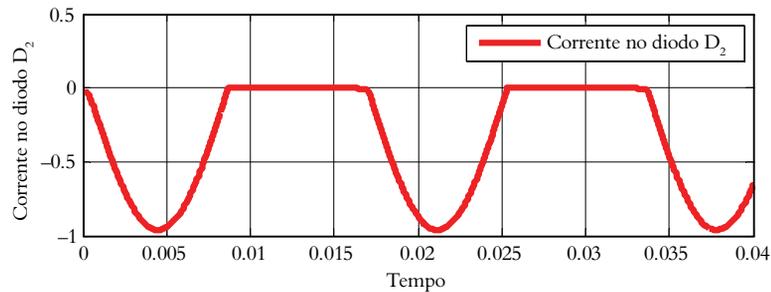
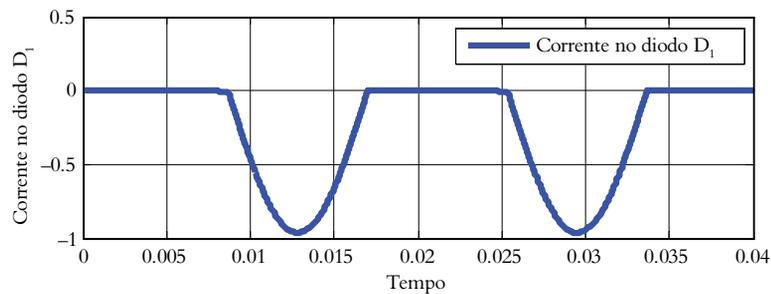
- d. As formas de onda de corrente nos diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas na sequência, sendo a azul no diodo  $D_1$  e a vermelha no diodo  $D_2$ . É possível observar pelas figuras apresentadas que a corrente de pico em cada diodo chega a quase  $-1$  A (menos um ampère). Esse valor pode ser comprovado conforme expressão mostrada na sequência.

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_1$ :

$$i_{D1(Pico)} = \frac{V_{Pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-19,44}{20} \Rightarrow i_{D1(Pico)} = -0,972 \text{ A}$$

Cálculo do valor de pico da corrente sobre o diodo  $D_2$ :

$$i_{D2(Pico)} = \frac{V_{Pico \text{ na carga}}}{20} = \frac{-19,44}{20} \Rightarrow i_{D2(Pico)} = -0,972 \text{ A}$$



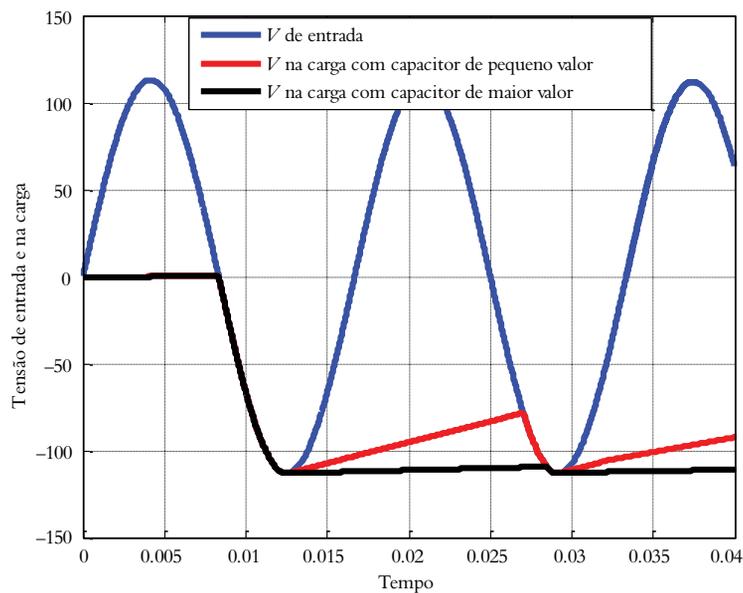
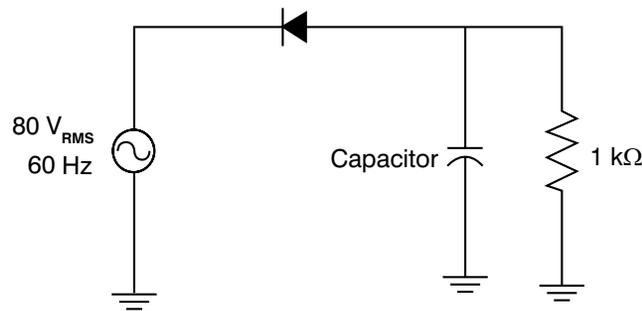
- e. A tensão de pico inversa (PIV) para cada diodo do retificador de onda completa com transformador de tomada central (“tap” central) é exatamente o dobro da tensão disponível em cada “tap” do trafo. Sabendo-se disso pode-se obter a tensão de pico em cada diodo da forma:

Cálculo do valor de pico da tensão sobre os diodos  $D_1$  e  $D_2$ :

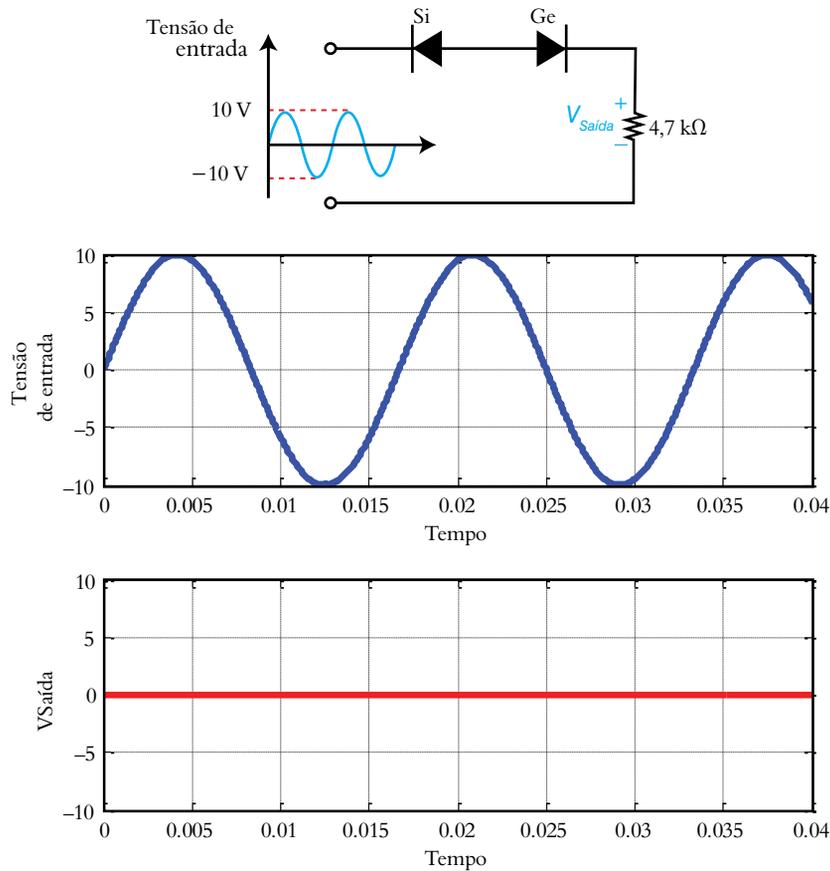
$$V_{D1(Pico)} = V_{D2(Pico)} = -2 \times 19,44 \Rightarrow V_{D1(Pico)} = V_{D2(Pico)} = -38,88 \text{ V}$$

Visualmente, as formas de onda de tensão de pico sobre os diodos  $D_1$  e  $D_2$  são mostradas anteriormente no item **c** e **f**.

- 7) De acordo com a disposição no circuito, o diodo não conduz no semiciclo positivo da tensão de entrada. No semiciclo negativo da senoide de entrada, o diodo conduz e inicia-se o processo de “carregamento” do capacitor. O capacitor carrega com o valor máximo da tensão de entrada e, logo em seguida, quando a tensão de entrada é levemente maior do que a tensão do capacitor, o diodo deixa de conduzir e começa seu estágio de “descarregamento” sobre o resistor de carga. No exercício não foi fornecido um valor para a capacitância do capacitor. Pode-se afirmar que quanto maior o valor dessa capacitância, menores serão as oscilações de tensão na carga, ou seja, menos ondulante será essa tensão. A seguir, são mostradas as formas de onda para a tensão de entrada (azul) e tensão na carga para dois valores de capacitâncias, sendo a de cor vermelha para uma capacitância de baixo valor e a de cor preta para uma capacitância maior. Devido à posição do diodo, observa-se que a tensão na carga é negativa.



- 8) a. O diodo de silício encontra-se reversamente polarizado. Isso indica que não há corrente circulando pela carga e, conseqüentemente, a tensão sobre o resistor de carga ( $V_{Saída}$ ) é nula. Na seqüência, são apresentadas as formas de onda de entrada (na cor azul) e na carga (na cor vermelha).

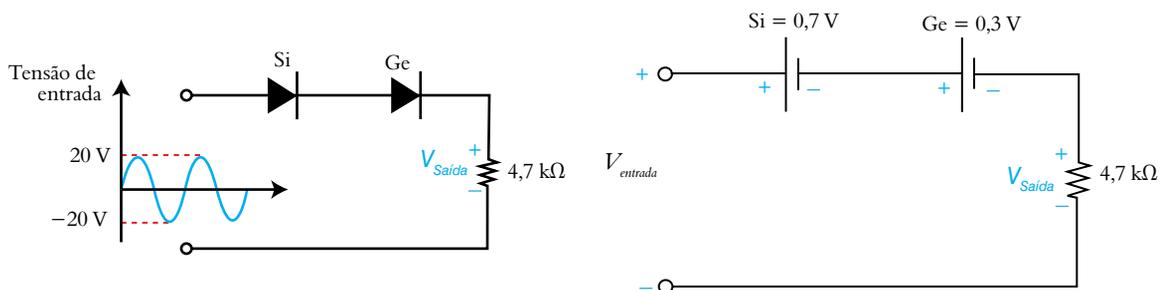


- b. Tanto o diodo de silício quanto o diodo de germânio estão diretamente polarizados (conduzindo) no semiciclo positivo do sinal senoidal de entrada. Com isso, eles podem ser substituídos por fontes contínuas (baterias) de 0,7 V para o diodo de silício e 0,3 V para o diodo de germânio, respectivamente. Com isso, a Lei das Tensões de Kirchhoff poderá ser aplicada ao circuito série, representado ao lado, da forma:

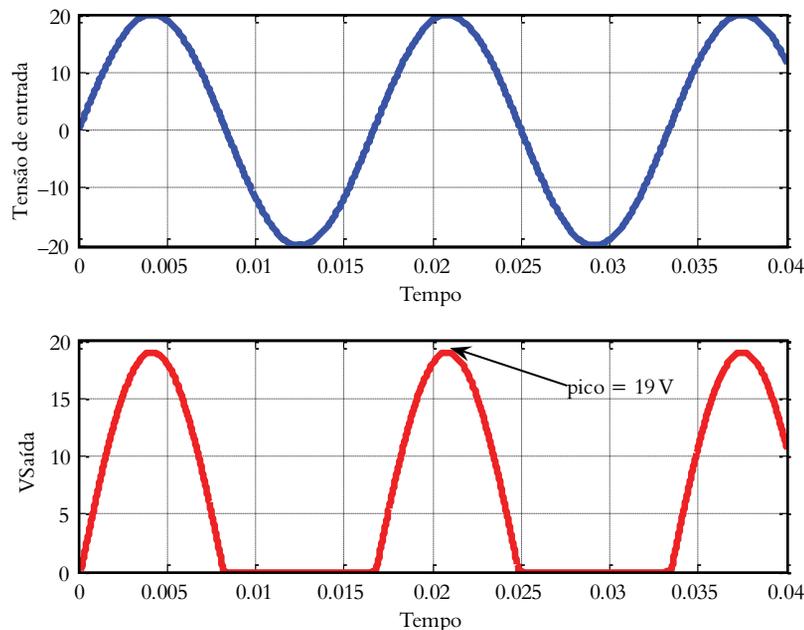
$$V_{entrada} - 0,7 - 0,3 - V_{saída} = 0$$

A tensão de saída será senoidal e o pico será de:

$$V_{saída} = 20 - 0,7 - 0,3 \Rightarrow V_{saída} = 19 \text{ V (valor de pico)}$$



No semiciclo negativo da forma de onda senoidal de entrada, os dois diodos tornam-se reversamente polarizados, fazendo com que não haja corrente circulando pela carga e, conseqüentemente, a tensão sobre o resistor de carga também é nula. Esse aspecto é mostrado no gráfico da tensão na carga (curva em vermelho) a seguir. A senoide da cor azul representa o sinal senoidal de entrada do circuito.



- c. Nesse circuito, olhando no semiciclo positivos do sinal de entrada, os dois diodos de silício estão diretamente polarizados, podendo ser substituído pelo circuito ao lado onde os diodos de silício foram substituídos por baterias de 0,7 V. Nesse circuito a Lei das Tensões de Kirchhoff (L.T.K) poderá ser aplicada tanto ao lado superior quanto ao lado inferior do mesmo. As duas escolhas fornecerão resultados idênticos. A partir da L.T.K., tem-se:

#### Análise no semiciclo positivo

$$V_{\text{entrada}} - \frac{1\,000 I_T}{2} - 0,7 - 1\,000 I_T = 0 \Rightarrow$$

$$V_{\text{entrada}} - 500 I_T - 0,7 - 1\,000 I_T = 0 \Rightarrow$$

$$V_{\text{entrada}} - 1\,500 I_T - 0,7 = 0 \Rightarrow$$

Assumindo que a tensão de entrada esteja no pico, tem-se:

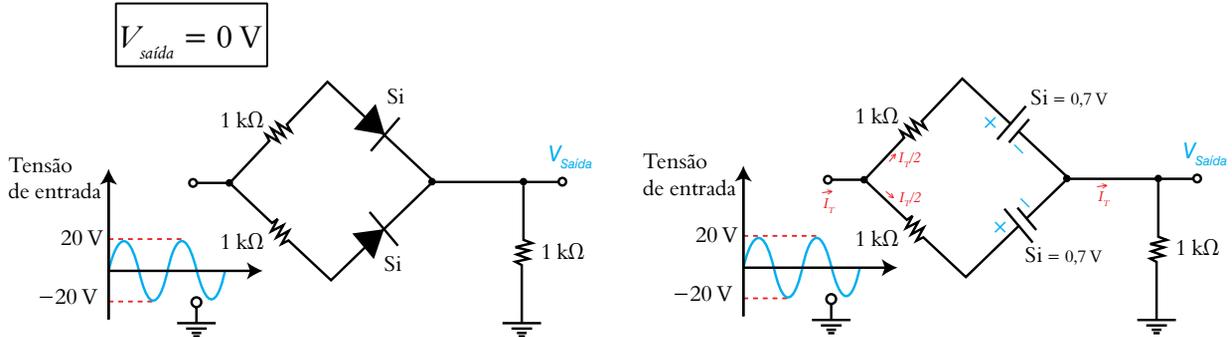
$$20 - 1\,500 I_T - 0,7 = 0 \Rightarrow I_T = \left( \frac{20 - 0,7}{1\,500} \right) \Rightarrow \boxed{I_T = 12,87 \text{ mA}}$$

#### Pela Lei de Ohm

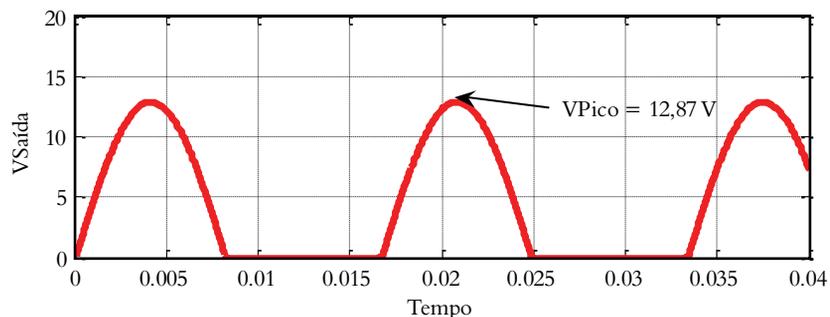
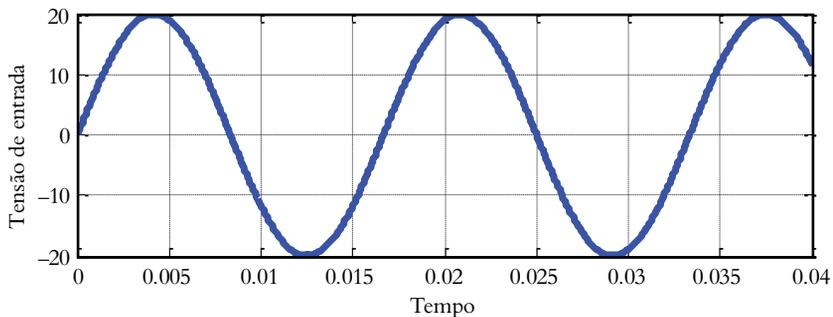
$$V_{\text{saída}} = 1\,000 I_T \Rightarrow V_{\text{saída}} = 1\,000 \times 12,87 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{\text{saída}} = 12,87 \text{ V (Valor de pico)}}$$

No semiciclo negativo da tensão de entrada, os dois diodos estão reversamente polarizados, comportando-se como chaves abertas. Assim, não haverá corrente circulando pela carga e fazendo com que a tensão no resistor de carga também seja nula. A análise no semiciclo negativo pode ser feita da forma:

### Análise no semiciclo negativo

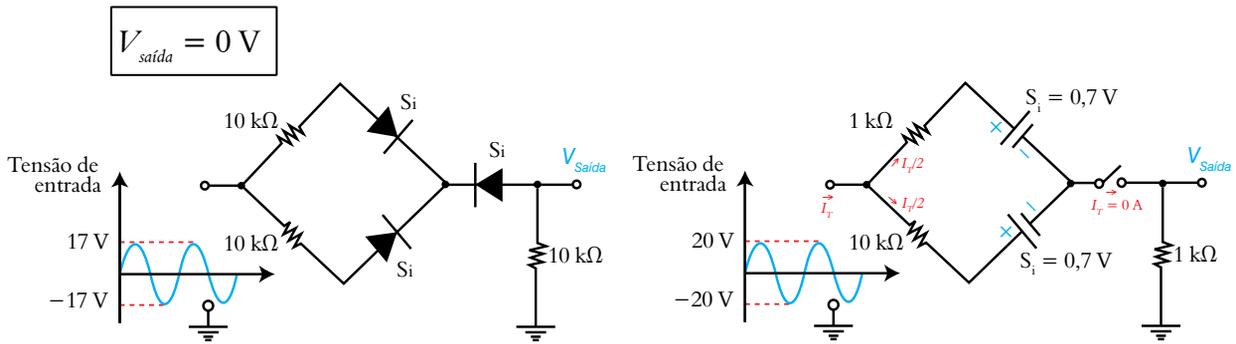


A tensão de entrada é mostrada na cor azul com amplitude de 20 Volts. A forma de onda de tensão na carga ( $V_{Saída}$ ) é mostrada na cor vermelha. Observa-se que no semiciclo positivo há a condução do diodo e a tensão na carga apresenta um aspecto senoidal com valor de pico igual a 12,87 V, conforme cálculos apresentados anteriormente. No semiciclo negativo, com o bloqueio do diodo não haverá tensão na carga.



- d. No semiciclo negativo do sinal senoidal de entrada, os dois diodos de silício (da esquerda), isoladamente, poderiam conduzir corrente. Entretanto, o último diodo de silício (à direita) está reversamente polarizado, fazendo com que a corrente do circuito no semiciclo positivo seja nula. As figuras mostradas na sequência evidenciam o comportamento desse circuito

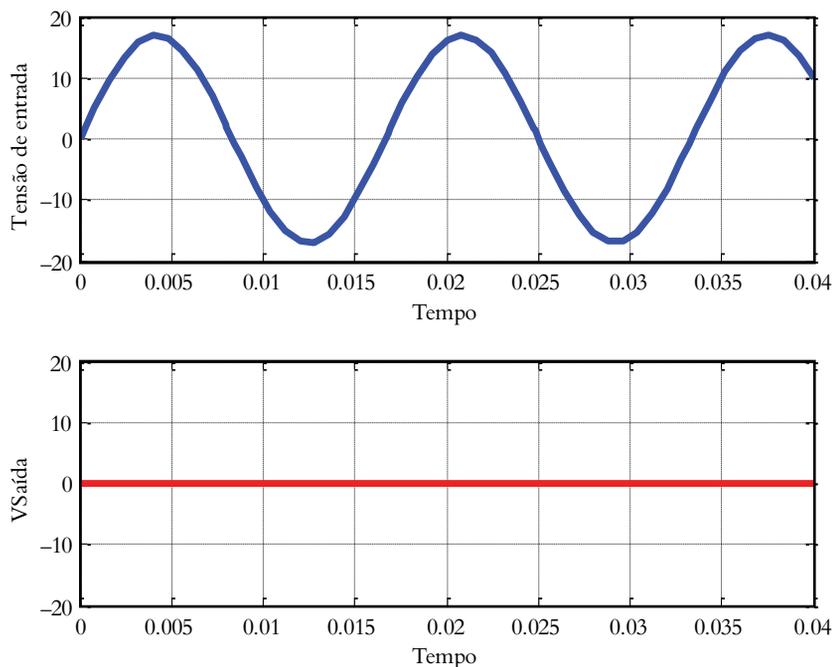
## Análise no semiciclo positivo



No semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo da direita passa a conduzir. No entanto, os diodos da esquerda (que estão em paralelo) estão reversamente polarizando, não permitindo a passagem de corrente pela carga. Sendo assim, a tensão na carga continua nula. O circuito equivalente para esse é mostrado na sequência. As formas de onda na entrada e na saída são mostradas na sequência nas cores azul e vermelho respectivamente. É importante observar que a tensão na carga é nula em ambos os semiciclos.

## Análise no semiciclo positivo

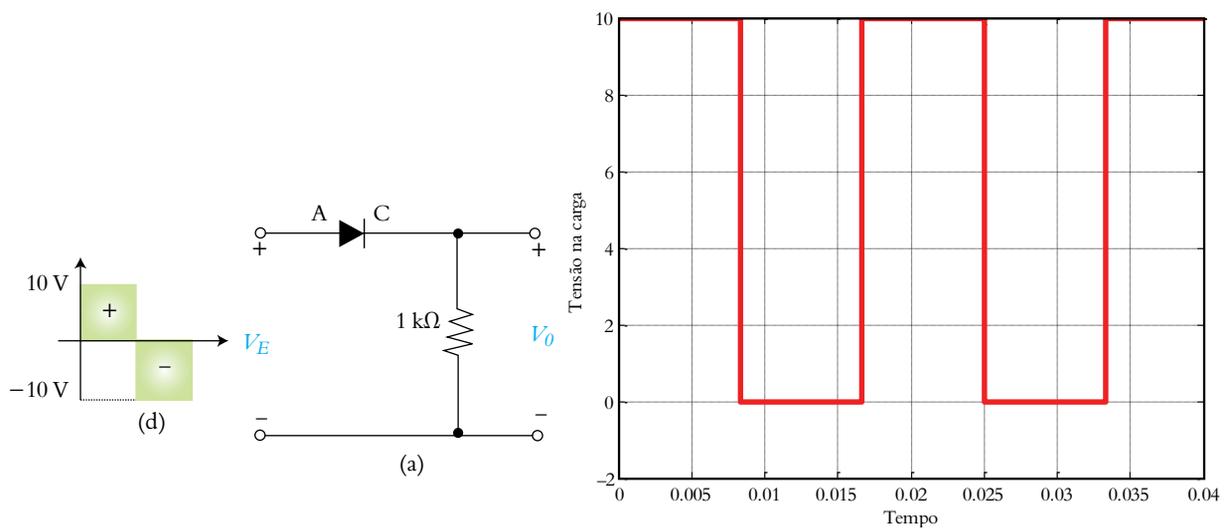
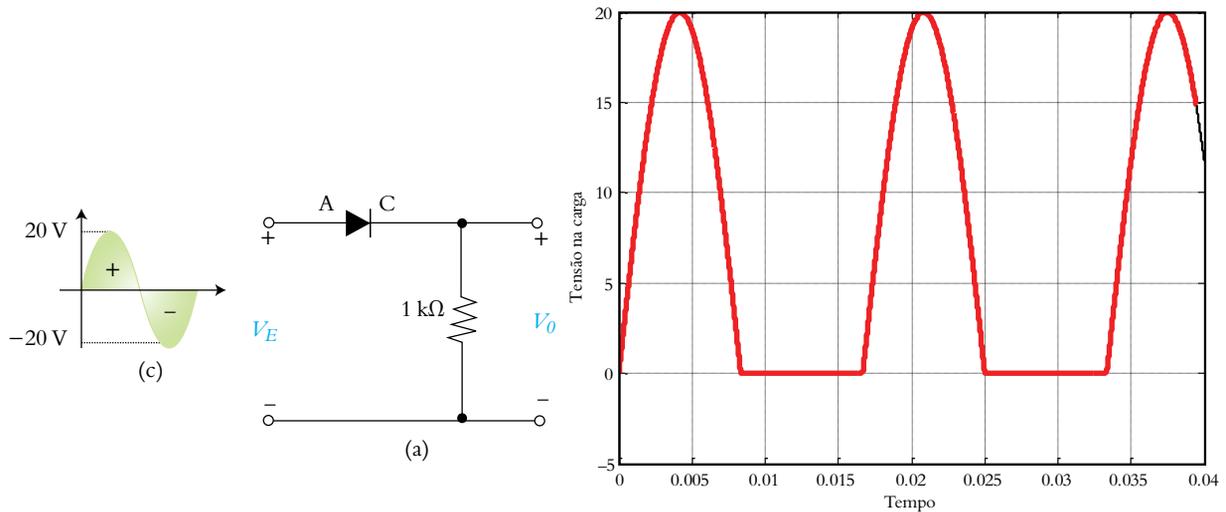
$V_{saída} = 0 \text{ V}$

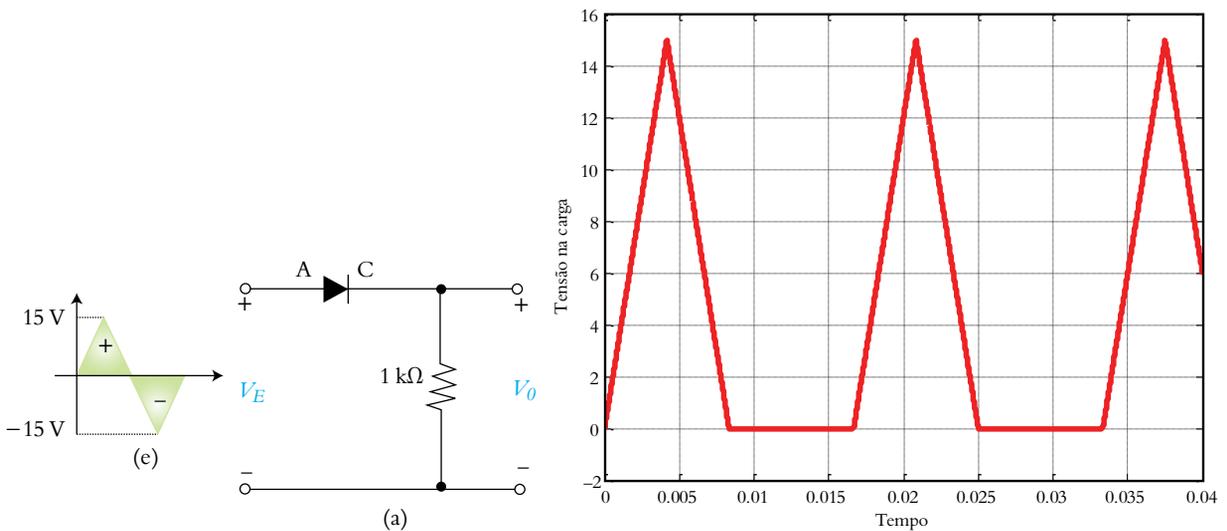


# Capítulo 4

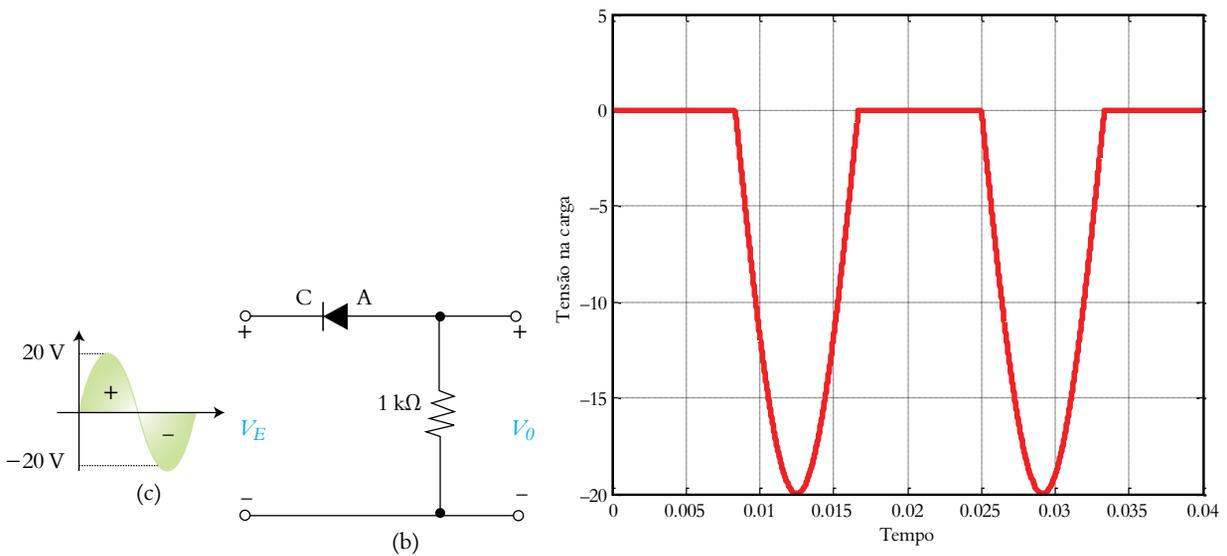
## Respostas – página 127

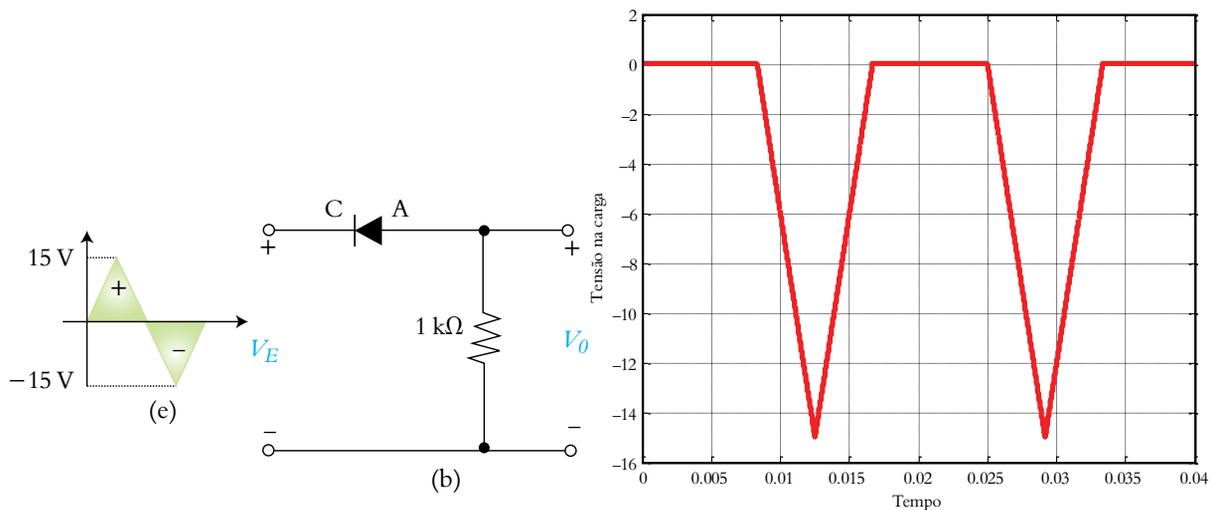
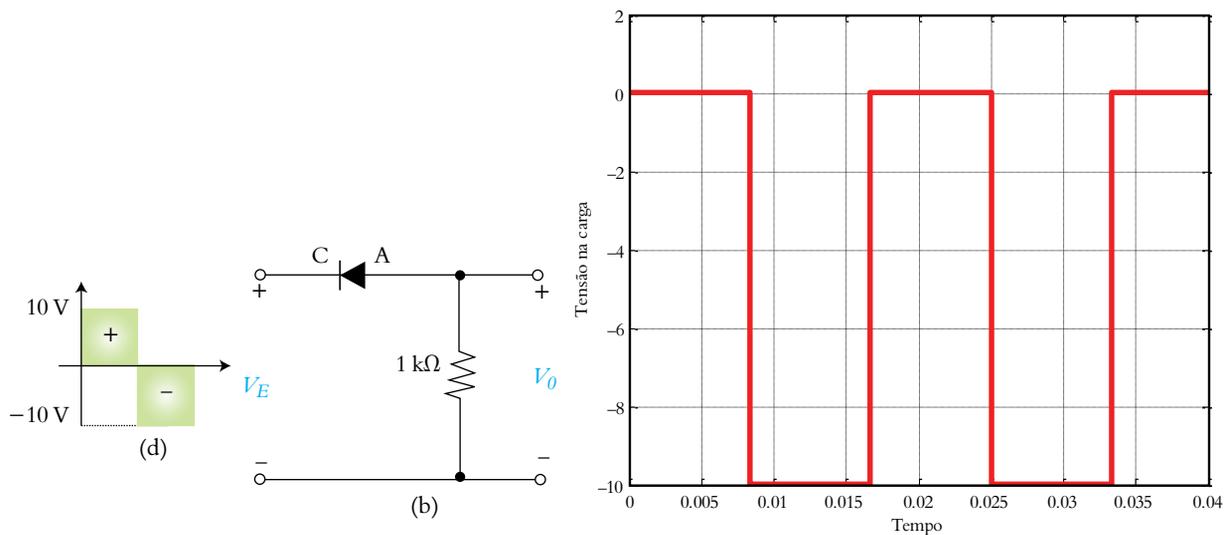
1) Esses três primeiros circuitos mostrados na sequência, na verdade são retificadores de meia-onda, que são os tipos mais simples de ceifadores. Nesses circuitos, os diodos conduzem no semiciclo positivo do sinal de entrada, dando passagem para a corrente elétrica. Com isso, a tensão da carga é igual à de alimentação do circuito. Os gráficos na sequência mostram os resultados obtidos na carga para três formatos de onda na entrada, a saber: senoidal, quadrada e triangular.





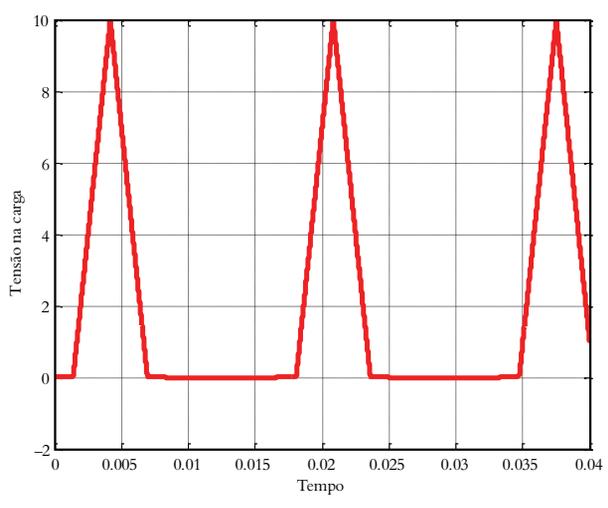
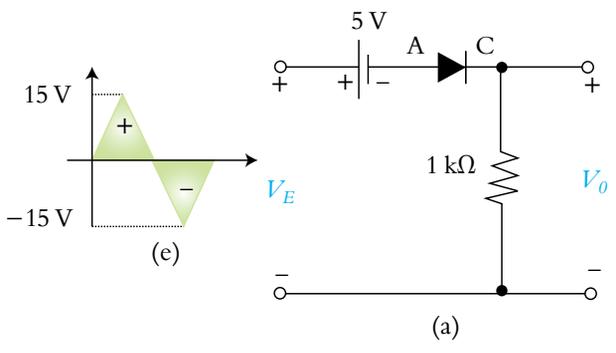
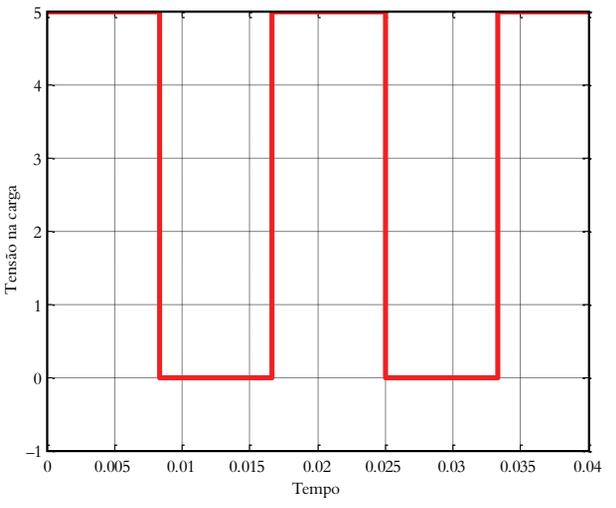
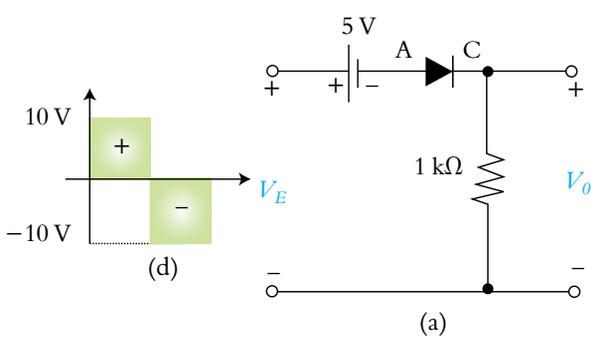
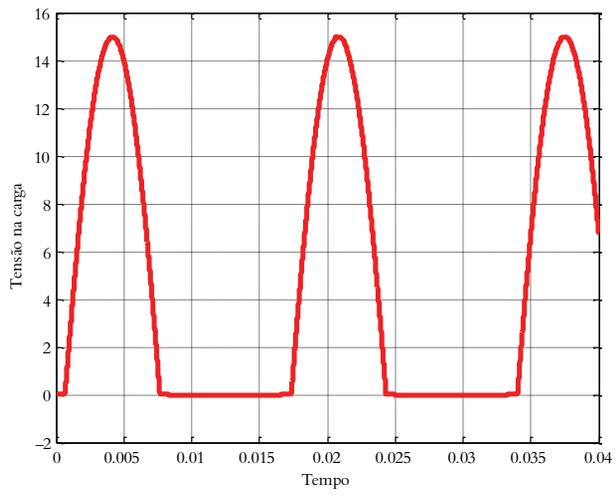
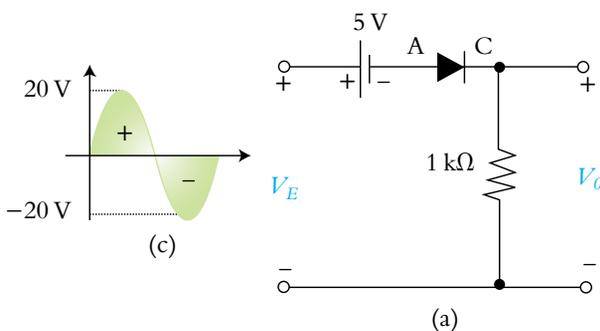
Após a inversão do diodo, que agora aponta para o sentido anti-horário, o diodo passa a conduzir no semiciclo negativo do sinal de entrada. Como no semiciclo positivo o diodo está reversamente polarizado, a tensão na carga é nula. Isso ocorre porque, devido ao bloqueio do diodo, não haverá corrente circulando no resistor de carga e, consequentemente a tensão sobre ele é nula. Novamente, são mostrados os resultados para três aspectos de forma de onda: senoidal, quadrada e triangular e todos se comportam de forma semelhante.



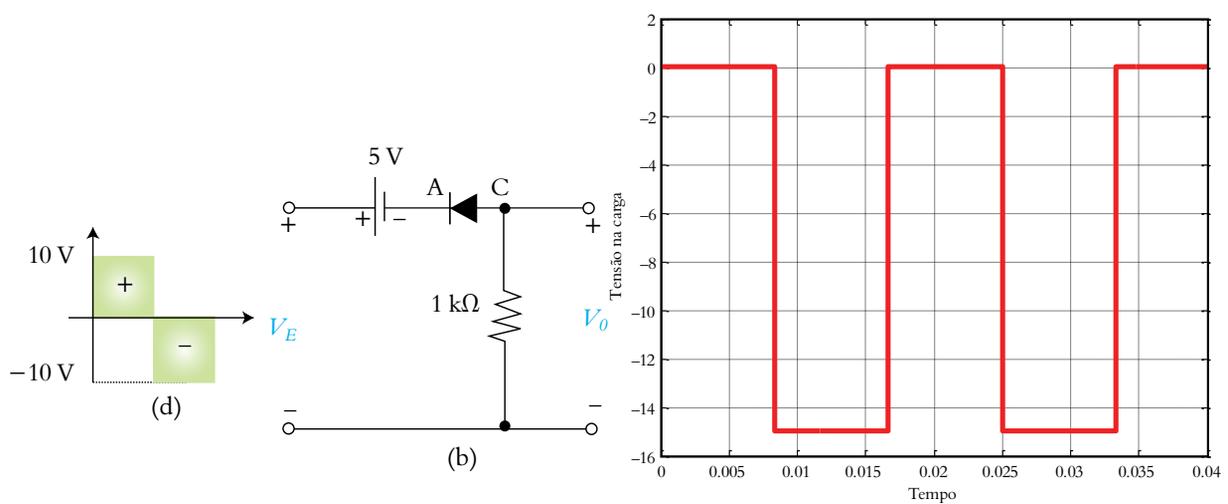
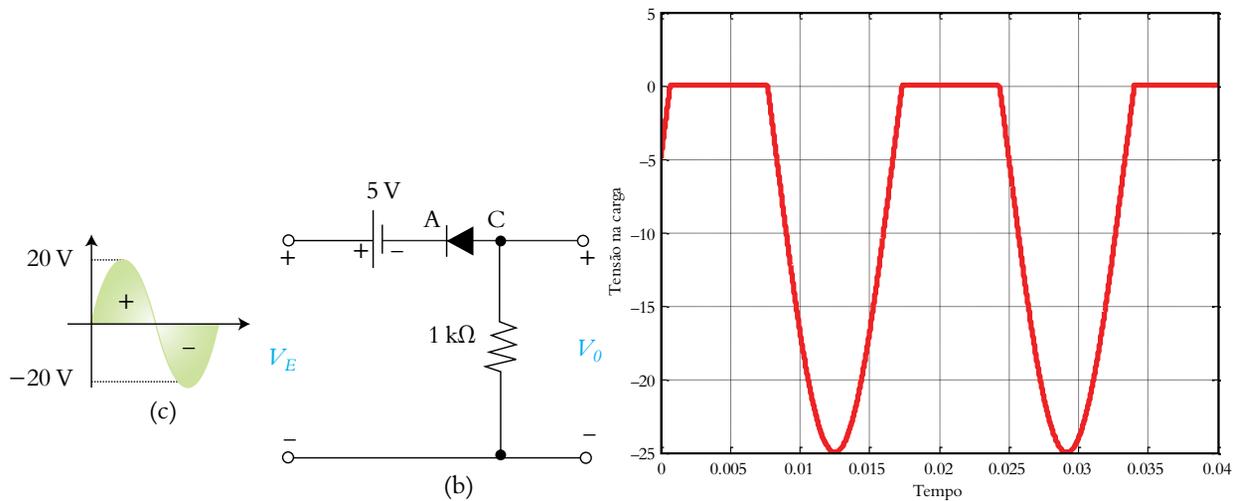


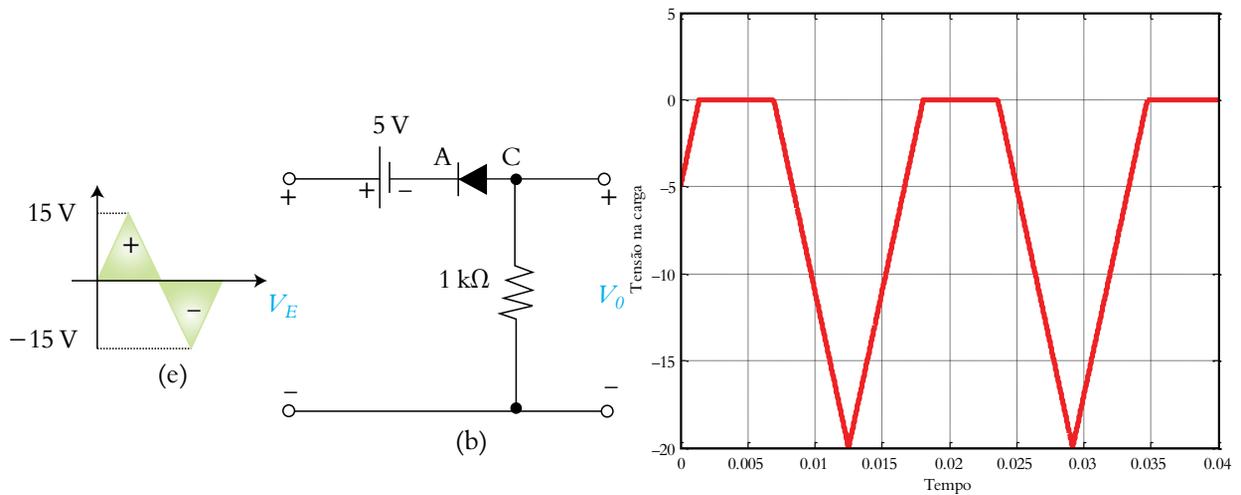
- 2) Para uma alimentação senoidal e triangular, num primeiro momento, enquanto a tensão de alimentação for menor que a da bateria, o diodo não conduz. Com isso, não há corrente circulando pela carga e, conseqüentemente, também não há tensão sobre o resistor de carga. Quando o circuito é alimentado por uma fonte quadrada, como a tensão é injetada instantaneamente no circuito, o diodo conduz.

Quando a tensão que alimenta o circuito ultrapassa o valor definido pela bateria de 5 V os diodos passa a conduzir. Assim, a tensão na carga toma o mesmo formato aplicado pela fonte de entrada, entretanto, com valores diferentes. Esses valores podem ser obtidos a partir da L.T.K no circuito. Por exemplo: o valor de pico na carga para um sinal senoidal de entrada é  $20 - 5 - V_0 = 0 \rightarrow V_0 = 15 \text{ V}$  (de pico).

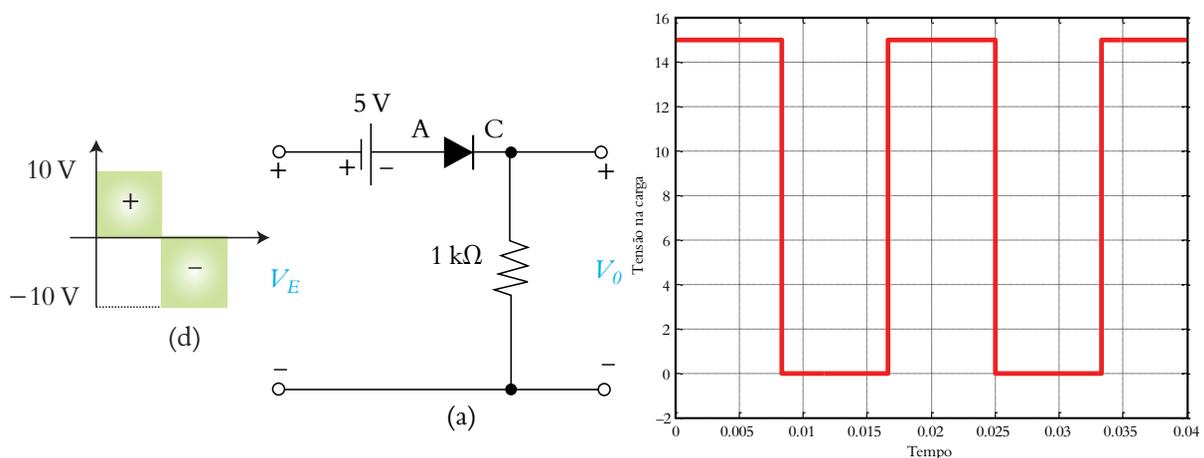
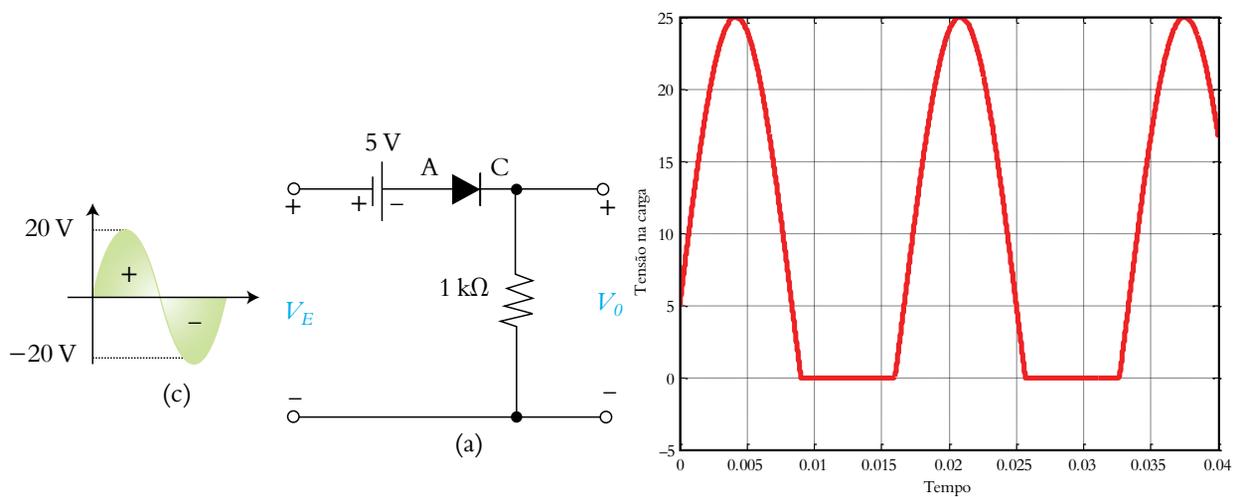


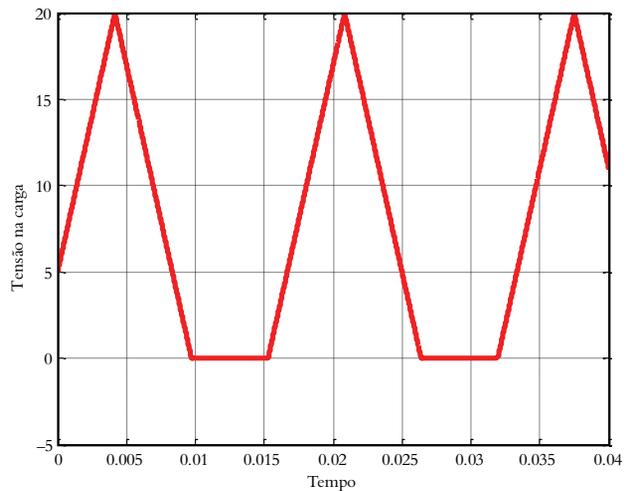
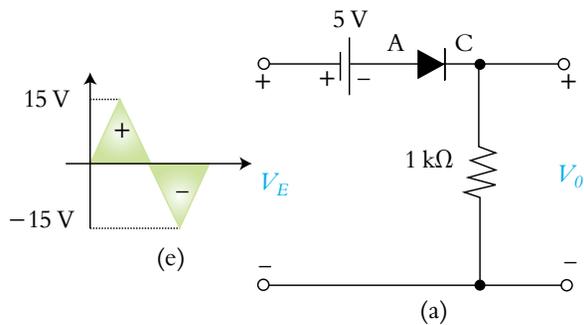
Alterando a disposição do diodo, as ondas na carga e as análises também mudam. As análises quando o circuito é alimentado por fontes senoidais e triangulares são semelhantes. No semiciclo positivo, inicialmente o diodo estará conduzindo e a tensão na carga se inicia com  $-5\text{ V}$ . A partir do momento em que a tensão de alimentação ultrapassa  $5\text{ V}$  (da bateria), o diodo fica reversamente polarizado e a tensão na carga é nula. Durante o semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo sempre vai conduzir para esses circuitos mostrados na sequência. Particularmente falando dos sinais senoidais e triangulares, teremos a partir da L.T.K. (análise de pico):  $-20 - 5 - V_o = 0 \rightarrow V_o = -25\text{ V}$ . Para o sinal triangular, só vai mudar a amplitude, que é de  $-20\text{ V}$ . As análises para uma onda de alimentação quadrada é um pouco diferente. Com esse tipo de alimentação, o diodo já inicia reversamente polarizado, com tensão na carga nula. Os gráficos a seguir mostram o comportamento da tensão na carga para as várias configurações de circuitos apresentadas.



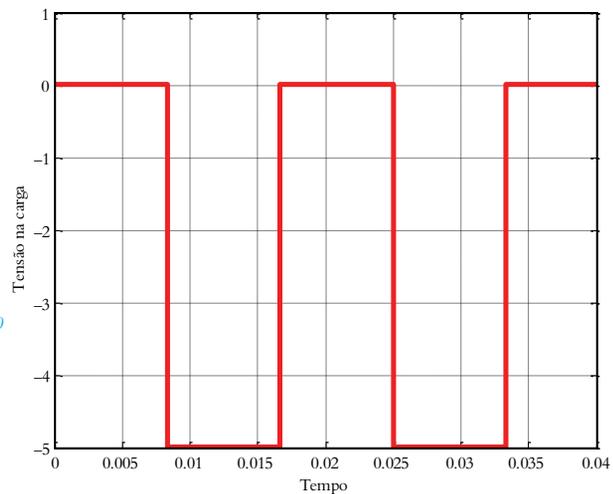
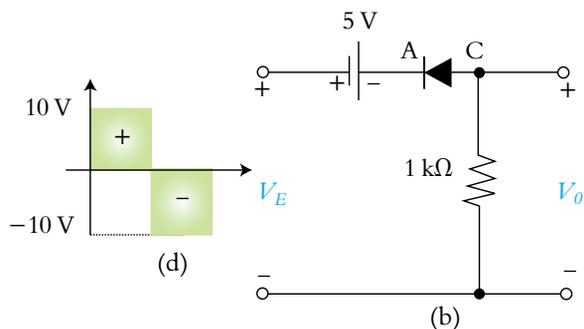
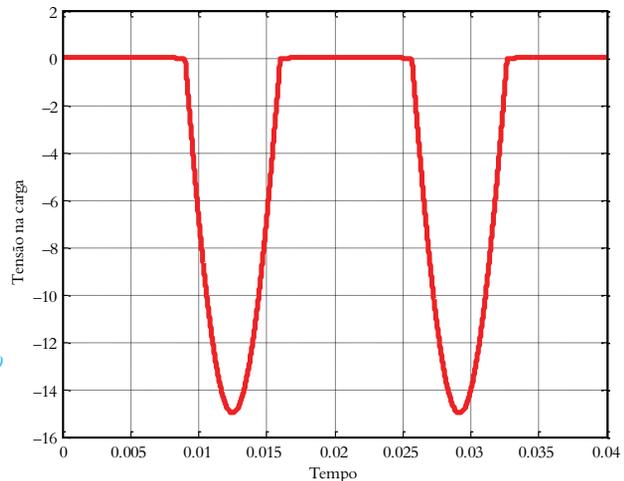
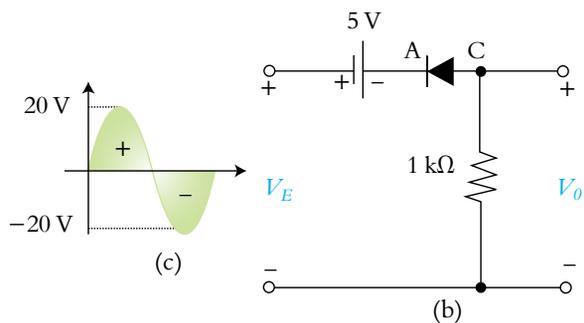


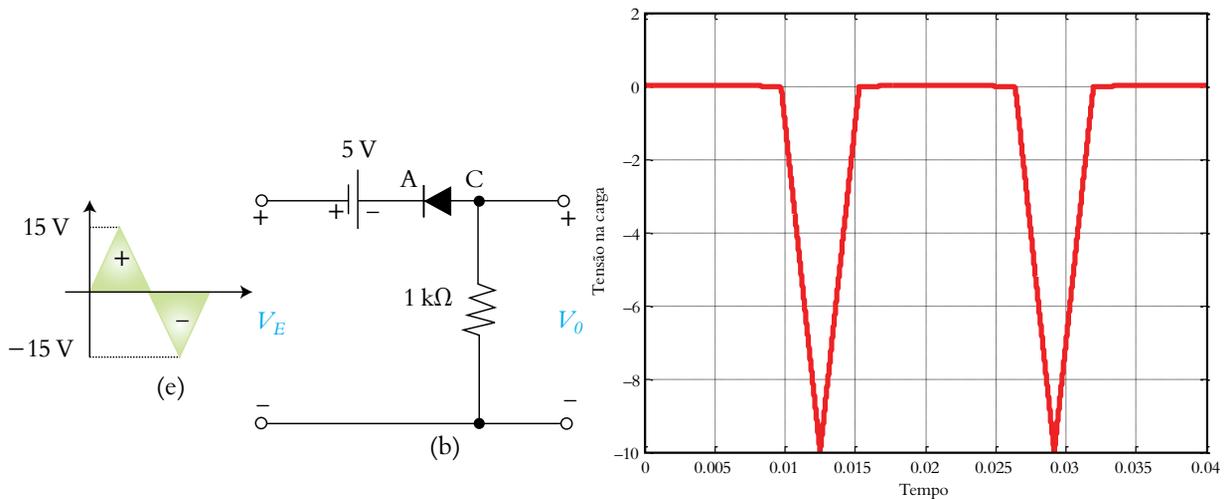
- 3) Com o catodo apontando para a direita, e a bateria disposta, conforme mostrado nos três primeiros circuitos a seguir, o diodo já inicia diretamente polarizado, mesmo que a tensão de alimentação seja nula. Pode-se concluir que no semiciclo positivo o diodo sempre irá conduzir. O diodo deixa de conduzir quando a tensão de entrada passa para o semiciclo negativo e ainda com valores negativos maiores que 5 V (por exemplo  $-6\text{ V}$ ,  $-7\text{ V}$ ,  $-8\text{ V}$ ,...  $-20\text{ V}$ ). Com o diodo aberto a tensão na carga é nula. Os resultados alimentando o circuito com ondas senoidais, quadradas e triangulares são mostrados na sequência.



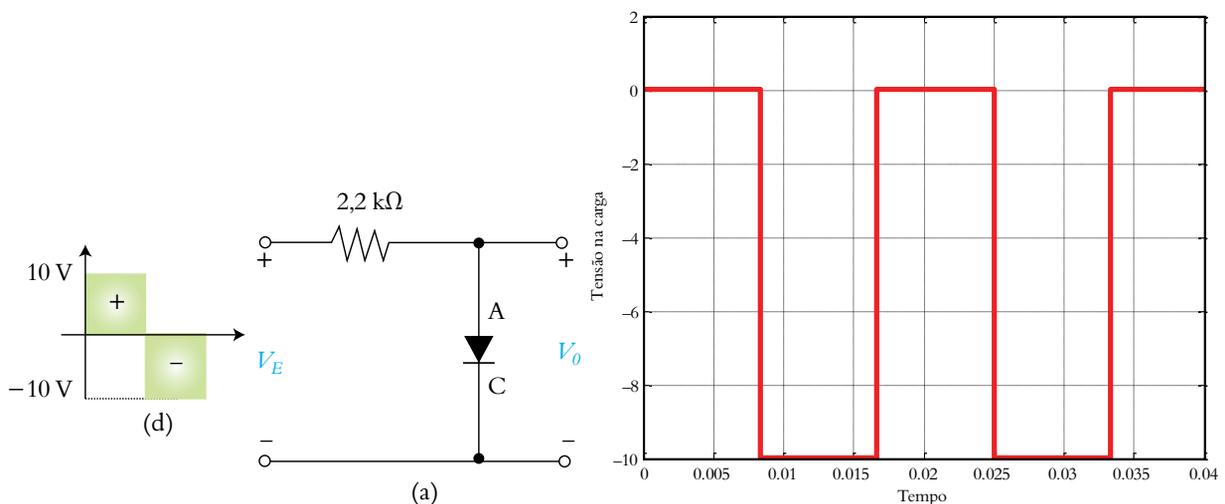
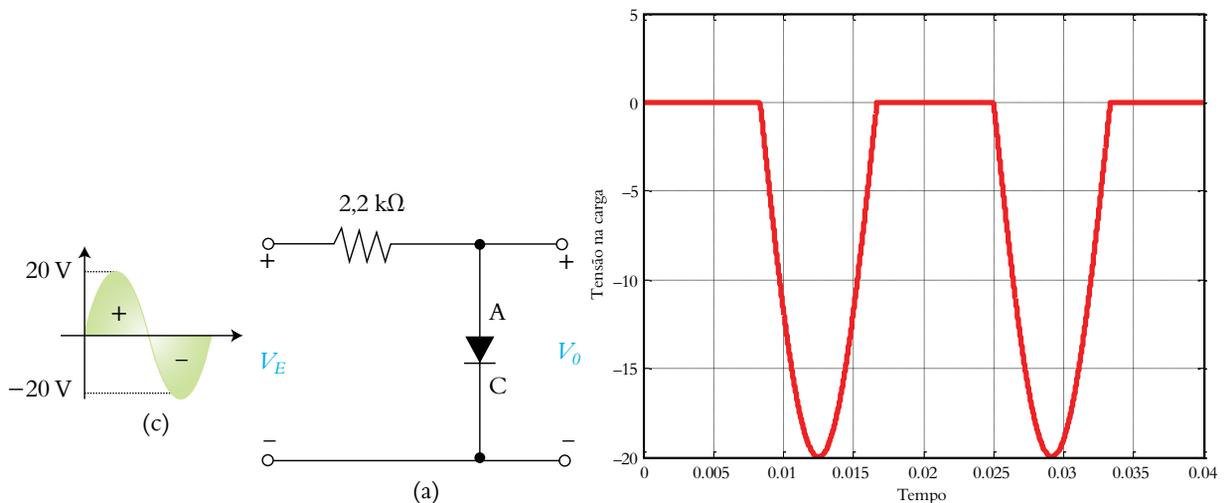


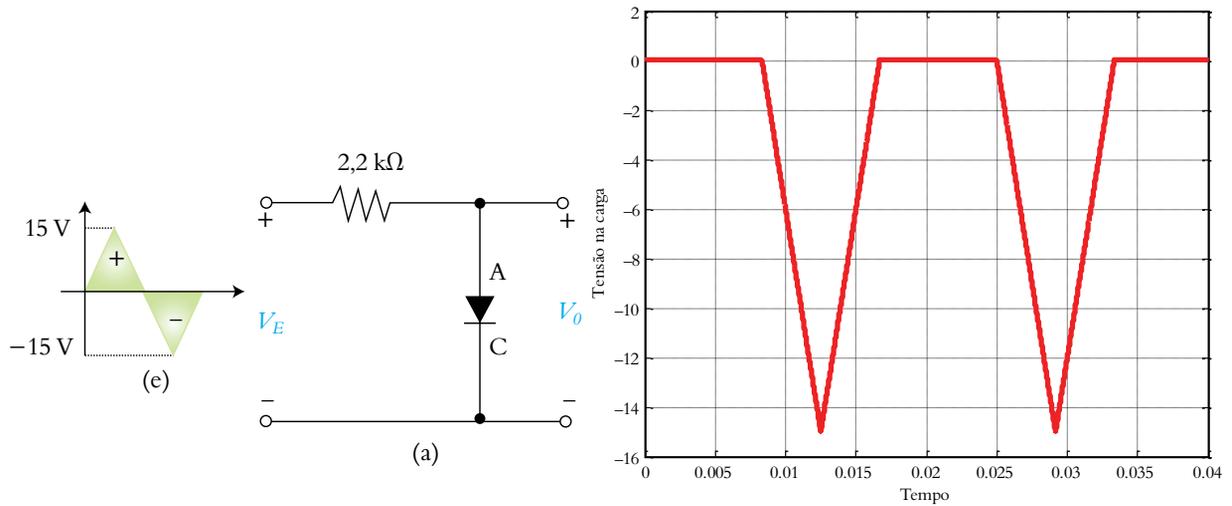
Mudando a disposição dos diodos a análise é completamente diferente, conforme gráficos mostrados na sequência. Durante todo o semiciclo positivo, o diodo não conduz e, conseqüente, a tensão na carga é nula. Os diodos só vão conduzir no semiciclo negativo, após a tensão de entrada ultrapassar o valor da bateria (por exemplo: -6 V, -7 V, -8 V,... -20 V). A partir daí surge tensão na carga, cujo valor exato é obtido a partir da L.T.K. no circuito.



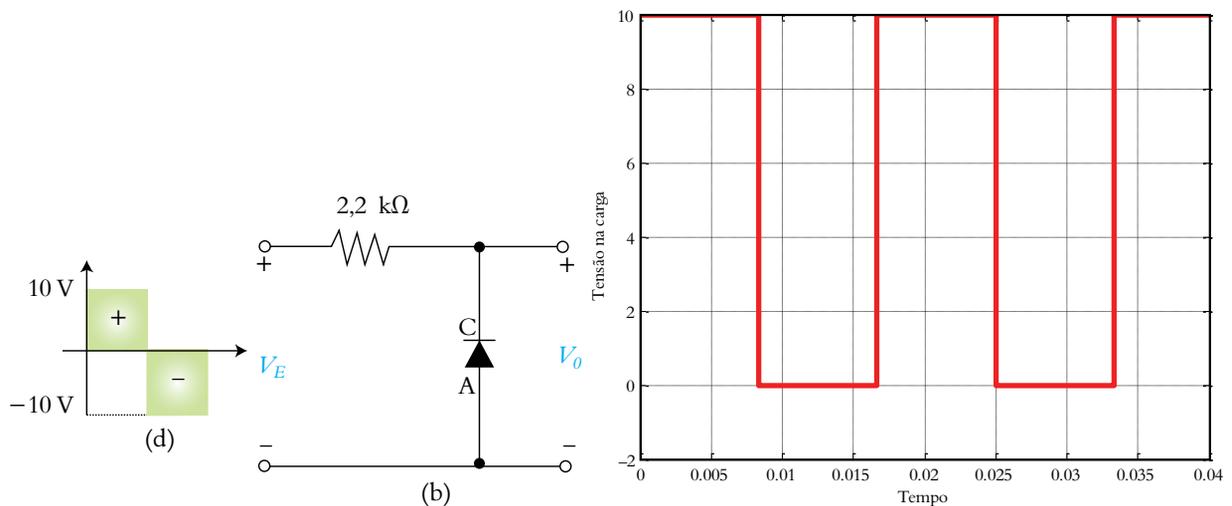
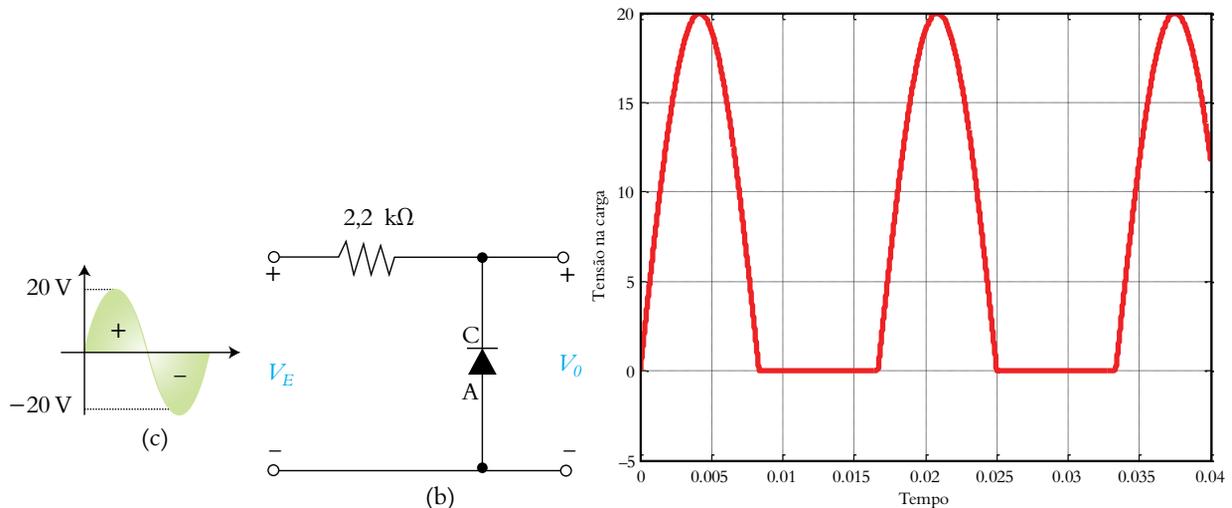


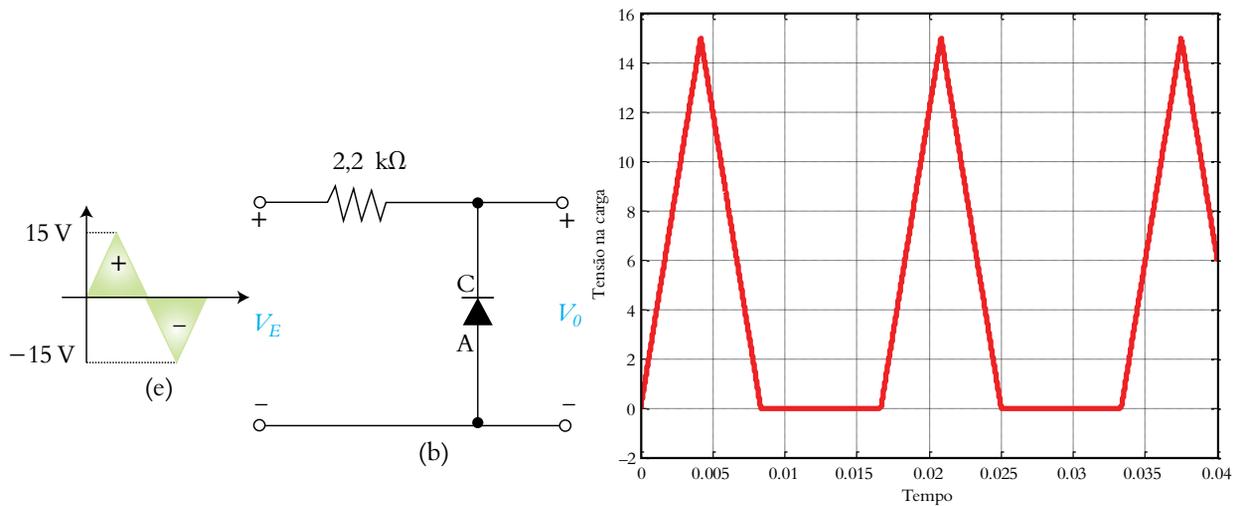
- 4) As formas de onda na carga para o diodo disposto para baixo, conforme mostrado nos três próximos circuitos, têm o mesmo comportamento. O diodo nessa posição está diretamente polarizado no semiciclo positivo do sinal de entrada, seja ele senoidal, quadrado ou triangular. Com isso, no semiciclo positivo da tensão de entrada, a tensão na carga é nula, visto que o diodo em condução comporta-se de forma semelhante a um curto-circuito. No semiciclo negativo, toda a tensão de alimentação surge sobre a carga, conforme mostrado a seguir.



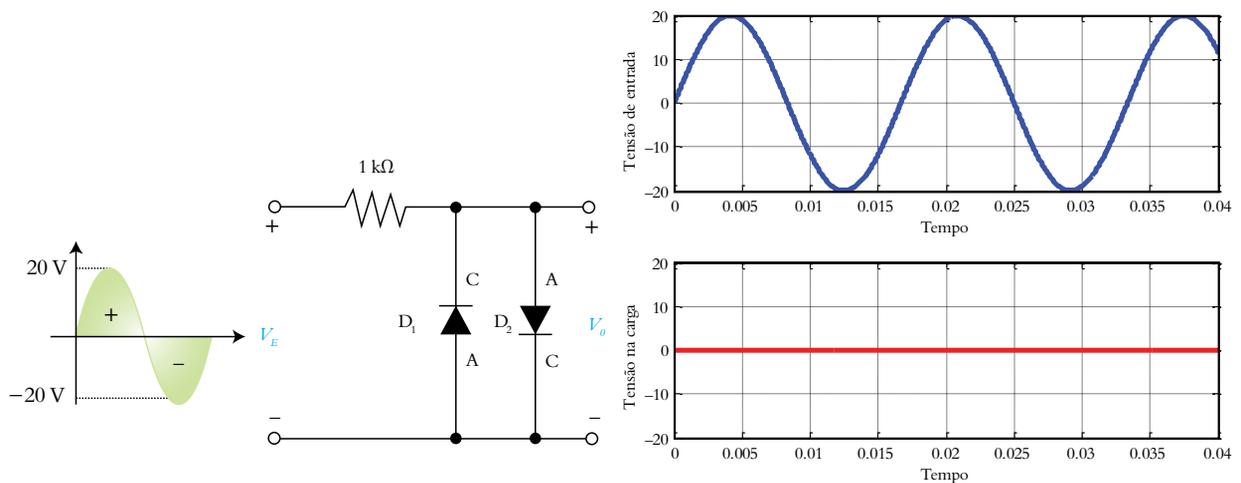


Com a simples inversão do sentido do diodo haverá da mesma forma a inversão do sinal de tensão sobre a carga, conforme mostrado nos gráficos a seguir. No semiciclo positivo da tensão de entrada, seja ela senoidal, quadrada ou triangular, o diodo está reversamente polarizado. Isso faz com que toda a tensão de alimentação surja sobre a carga. Já no semiciclo negativo o diodo conduz, tornando-se um curto-circuito e anulando a tensão para a carga. Os próximos três gráficos mostram o comportamento da tensão na carga para os casos da fonte de alimentação ser senoidal, quadrada ou triangular.

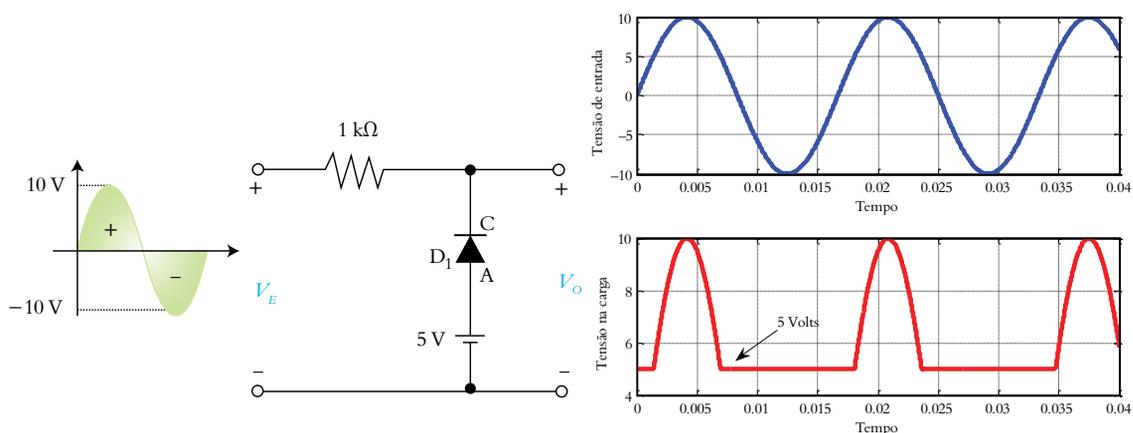




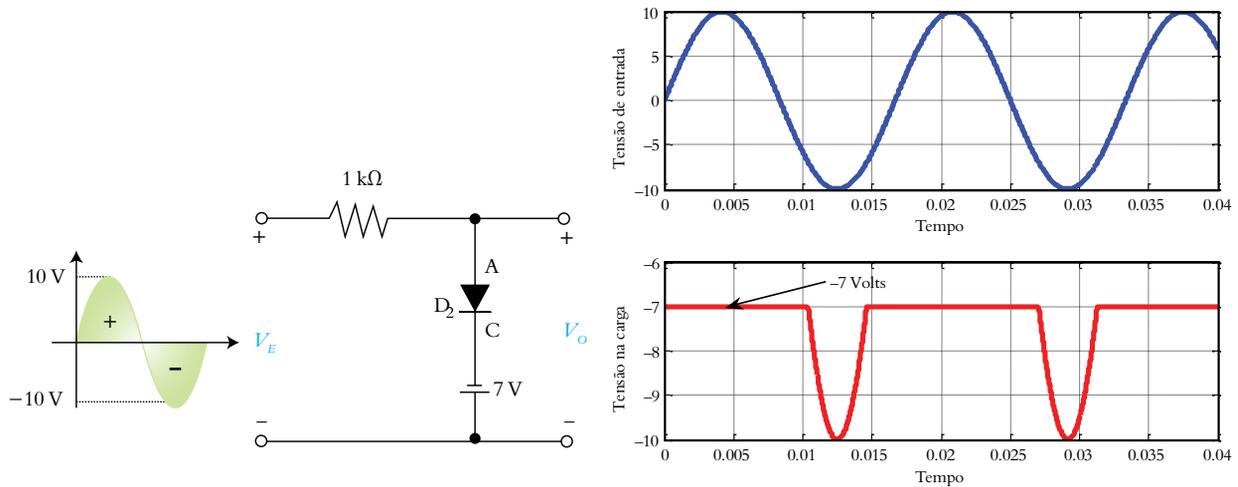
5) Se considerarmos que o diodo utilizado é ideal, a tensão na carga é nula. Isso porque o diodo  $D_1$  conduz no semiciclo positivo do sinal de entrada e o diodo  $D_2$  conduz para o semiciclo negativo do sinal de entrada. Em ambos os casos, curto-circuitando a carga e mantendo uma tensão nula sobre ela, conforme gráfico em vermelho a seguir. Caso o diodo seja de silício, a tensão na carga será idêntica à apresentada na resolução do exercício nº 8, capítulo 2.



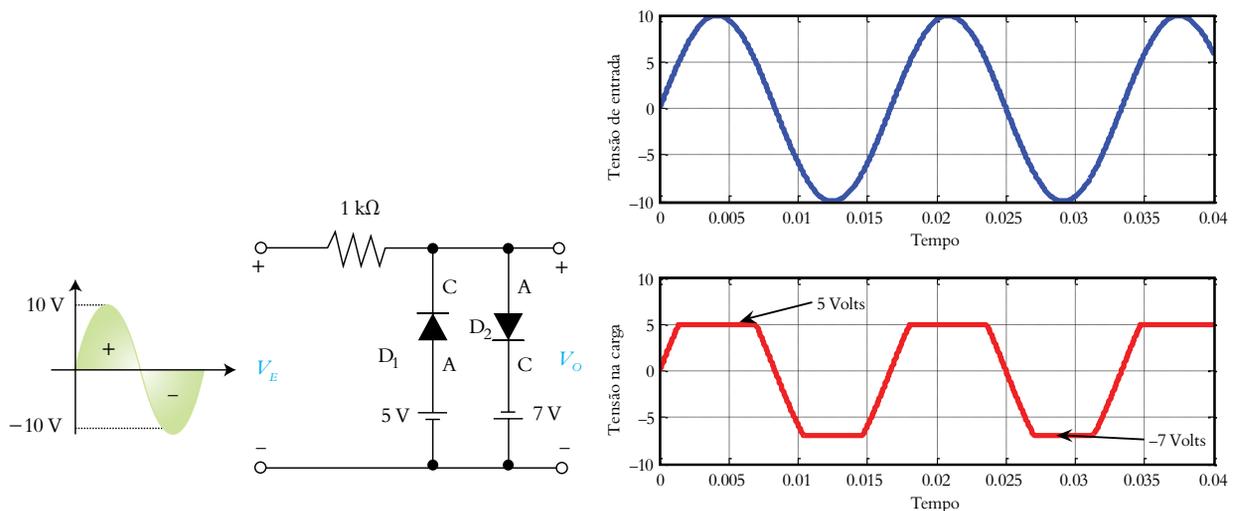
6) Assumindo que os diodos sejam ideais, pode-se concluir que para tensões de entrada inferiores à da bateria de 5 Volts o diodo está diretamente polarizado. Com isso, a tensão na carga é mantida num valor idêntico ao da bateria, visto que a bateria está em paralelo com a carga. Para tensões de entrada superiores a 5 Volts, o diodo não conduz, e a tensão da carga é igual à da fonte senoidal de entrada. Os gráficos na sequência mostram as formas de onda de entrada (em azul) e na carga (em vermelho).



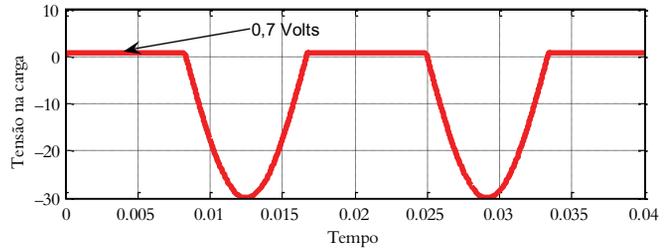
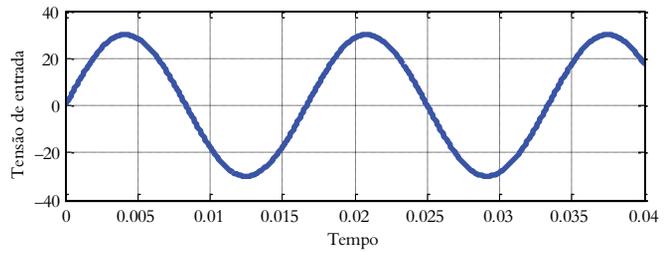
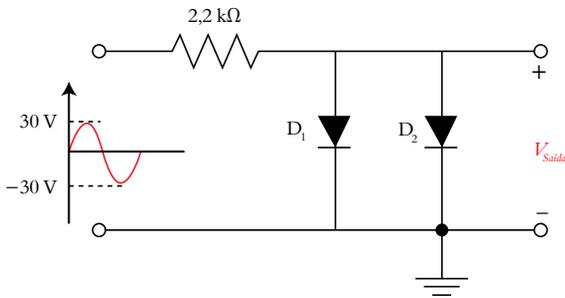
Nesse circuito o diodo está diretamente polarizado durante todo o semiciclo positivo do sinal senoidal de entrada, mantendo a tensão na carga em  $-7$  Volts. O diodo continua conduzindo durante uma parcela negativa do sinal de entrada, até que a entrada se torne mais negativa que  $-7$  V, que é quando o diodo torna-se reversamente polarizado. Os gráficos da entrada e na carga são mostrados na sequência.



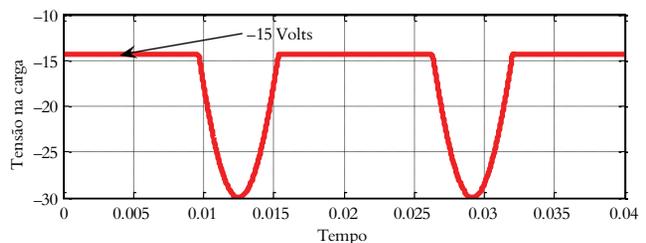
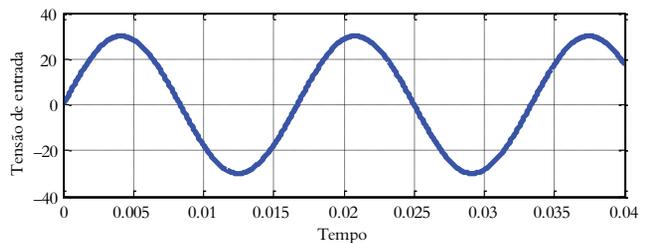
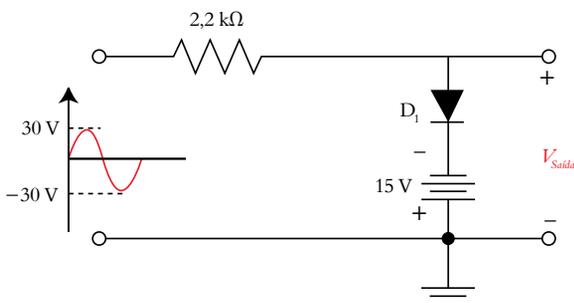
O diodo da esquerda conduz durante o semiciclo positivo do sinal de entrada, enquanto o diodo da direita conduz durante o semiciclo negativo do sinal de entrada. Esse circuito ceifador limita a tensão na carga nos valores de  $5$  Volts positivo e  $-7$  Volts negativo. Os gráficos que evidenciam o comportamento da tensão de entrada e na carga são mostrados a seguir.



- 7) Os dois diodos  $D_1$  e  $D_2$  conduzem simultaneamente para o semiciclo positivo da tensão de entrada. Essa condução faz com que a tensão da carga seja limitada em  $0,7$  Volt durante todo o semiciclo positivo da tensão de entrada. Quando a tensão de entrada passa para o semiciclo negativo os dois diodos tornam-se reversamente polarizados, evitando a passagem de corrente elétrica e fazendo com que a tensão de saída seja igual à de entrada. Os gráficos mostrados na sequência evidenciam com detalhes o comportamento da tensão de entrada (em azul) e na carga (em vermelho).

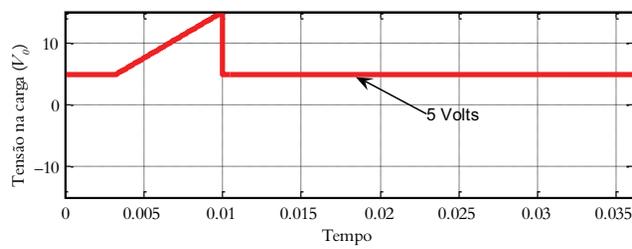
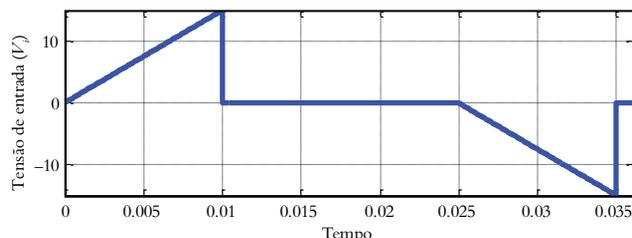
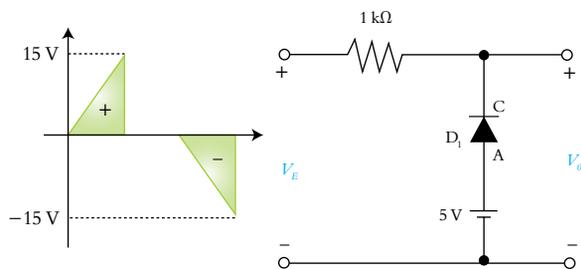


Durante todo o semiciclo positivo da tensão de entrada, o ânodo é mais positivo que o catodo e, portanto o diodo conduz. Assim, a tensão na carga é mantida em  $-15$  Volts durante esse intervalo. Posteriormente, a tensão de entrada começa a circular no semiciclo negativo. Observamos que durante parte do semiciclo negativo o diodo ainda conduz. Isso acontece especificamente para valores de tensão de entrada mais positivos que  $-15$  Volts, ou seja,  $-1$  V,  $-2$  V,  $-3$  V,...  $-15$  V. Quando a tensão de entrada ultrapassa a barreira de  $-15$  V, o diodo “abre”, fazendo com que a tensão na carga seja igual à de entrada. Os gráficos a seguir mostram a tensão de entrada e na carga, traduzindo o que foi falado.



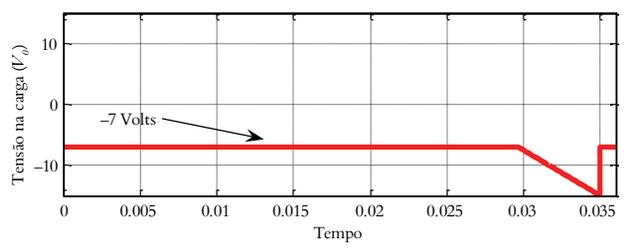
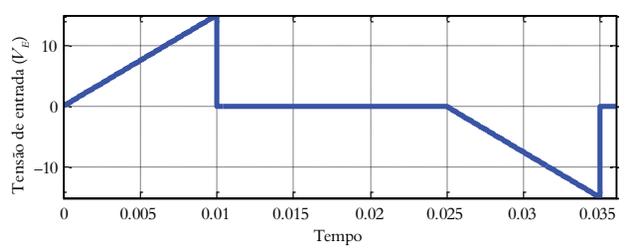
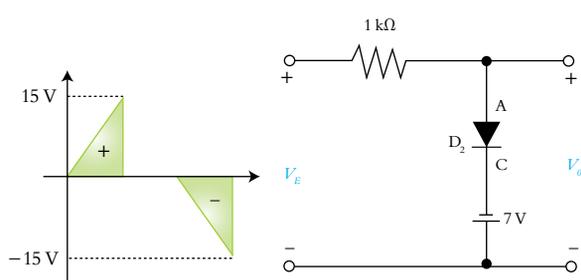
8) Nesse primeiro circuito, o diodo estará diretamente polarizado, enquanto a tensão do ânodo estiver mais positiva (maior) que a do catodo. Logo que a tensão de entrada ultrapassar o valor da fonte contínua, o diodo “abre” (não conduz) e, portanto a tensão de saída  $V_{out}$  será idêntica à de entrada. Podemos afirmar ainda que quando a tensão de entrada está no semiciclo negativo, o catodo estará sempre mais negativo que o ânodo, fazendo com que o diodo conduza e limite a tensão na carga em 5 Volts. Os gráficos para a tensão de entrada ( $V_i$ ) e na carga ( $V_o$ ) são mostrados logo em seguida nas cores azul e vermelho, respectivamente. É possível notar que:

- $V_E \leq V_{Bateria}$  o diodo conduz e a tensão de saída  $V_o$  será de 5 V.
- $V_E > V_{Bateria}$  o diodo não conduz e a tensão de saída  $V_o = V_E$



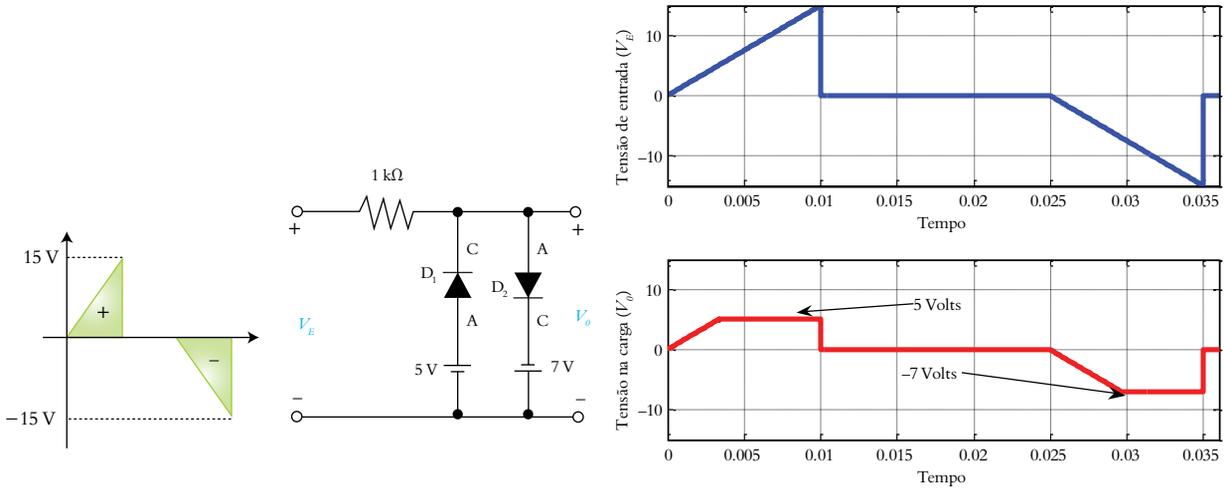
No circuito mostrado a seguir, o diodo estará diretamente polarizado em todo o semiciclo positivo do sinal de entrada  $V_E$ . No semiciclo negativo da tensão de entrada, o diodo permanece conduzindo, enquanto a tensão aplicada ao ânodo seja mais positiva que  $-7\text{ V}$  (tensão da bateria). Isso significa que se  $V_E$  for  $-1\text{ V}$ ,  $-2\text{ V}$ ,  $-3\text{ V}$ ,...  $-7\text{ V}$ , o diodo continua conduzindo. Durante todo o intervalo de tempo que o diodo conduz a tensão na carga é limitada em  $V_o = -7\text{ V}$ . A partir do momento em que a tensão de entrada se torna mais negativa que a da bateria ( $-8\text{ V}$ ,  $-9\text{ V}$ ,...  $-15\text{ V}$ ), o diodo fica reversamente polarizado, e a tensão de saída é idêntica à de entrada. Os gráficos para a tensão de entrada ( $V_i$ ) e na carga ( $V_o$ ) são mostrados logo em seguida nas cores azul e vermelho respectivamente. É possível notar que:

- Para  $V_E$  mais positivo que  $V_{Bateria}$  o diodo conduz e a tensão de saída  $V_o$  será de  $-7\text{ V}$ .
- Para  $V_E$  mais negativo que  $V_{Bateria}$  o diodo não conduz e a tensão de saída  $V_o = V_E$ .

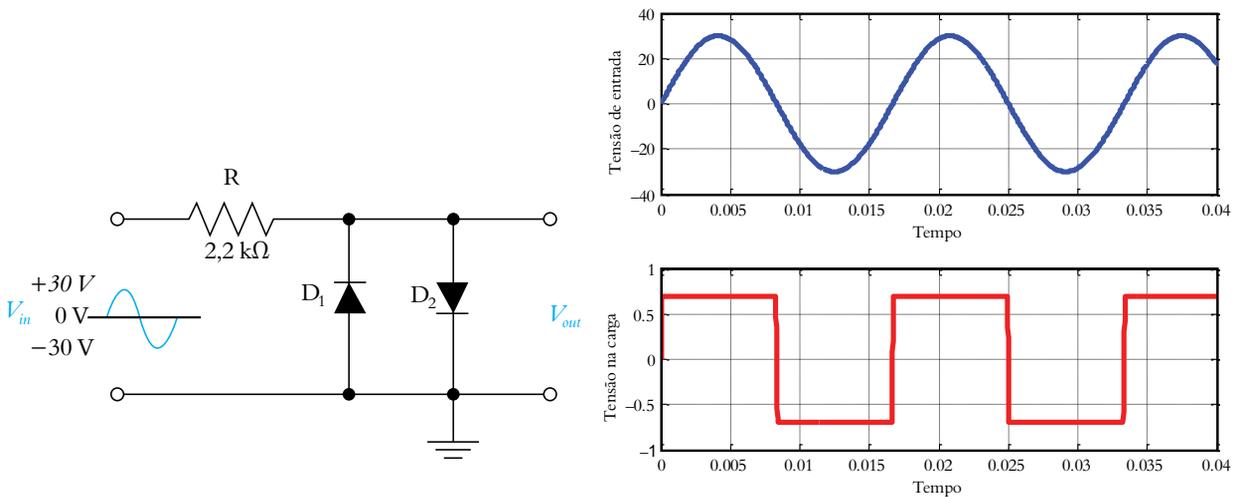


O circuito mostrado na sequência é chamado de limitador positivo e negativo. Esse nome é dado justamente porque esse circuito consegue ceifar as partes positiva e negativa de uma forma de onda aplicada à entrada. Nesse caso, em particular, o diodo  $D_1$  conduzirá durante o semiciclo positivo da tensão de entrada, especificamente quando essa tensão de entrada for maior do que a tensão da bateria de  $5\text{ Volts}$ . O diodo  $D_2$  só vai conduzir no

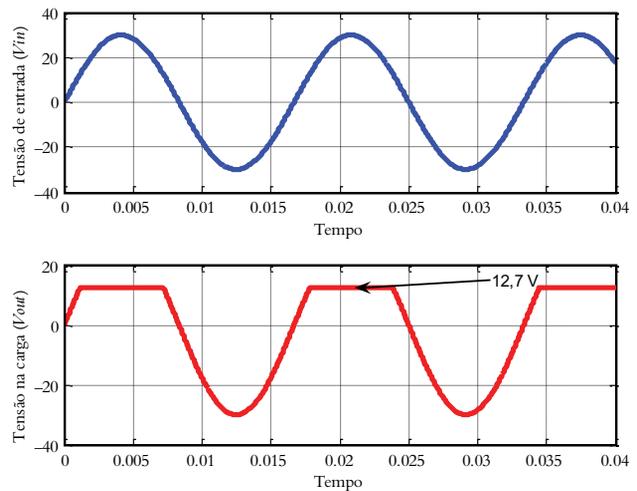
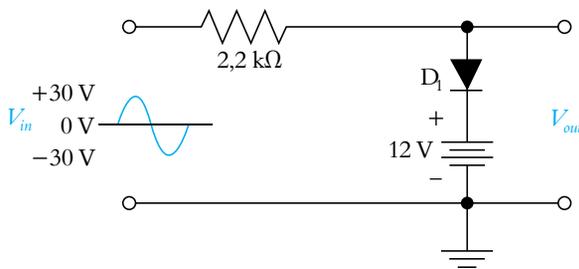
semiciclo negativo, especificamente quando a tensão de entrada for mais negativa que a da bateria de  $-7\text{ V}$ . Os gráficos da tensão de entrada (em azul) e da tensão na carga (em vermelho) mostrados na sequência mostram que a onda de tensão disponível para a carga foi ceifada positivamente em  $5\text{ Volts}$  e negativamente em  $-7\text{ Volts}$ .



- 9) A primeira conclusão que chegamos é que o diodo  $D_2$  conduz apenas no semiciclo positivo e que o diodo  $D_1$  conduz apenas no semiciclo negativo da tensão de entrada  $V_{in}$ . Como os dois diodos são de silício, a forma de onda na carga será de apenas  $0,7\text{ V}$ , conforme gráfico na cor vermelha a seguir. Observe que a tensão na carga é praticamente uma onda quadrada, cujo valor máximo é de  $0,7\text{ Volt}$ . Juntamente à tensão na carga, também é ilustrado o gráfico da tensão de entrada  $V_{in}$ , na cor azul, cujo valor de pico é de  $30\text{ Volts}$ .



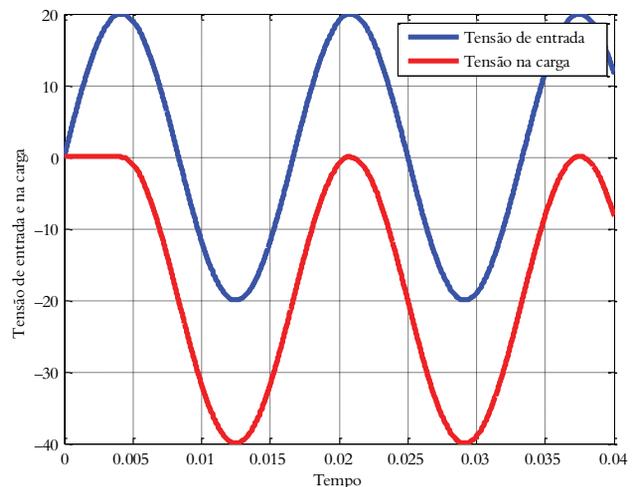
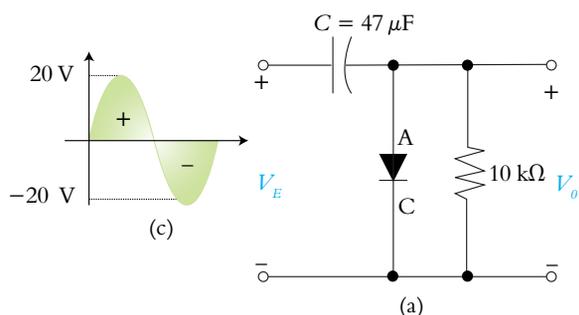
No circuito ceifador a seguir, o diodo só vai conduzir quando a tensão de entrada senoidal  $V_{in}$  for levemente maior que  $12,7\text{ Volts}$ . Quando a tensão de entrada ultrapassar levemente esse valor, a saída  $V_{out}$  será limitada (ceifada) em  $12,7\text{ Volts}$ . Portanto, esse é um limitador positivo. No semiciclo negativo da tensão de entrada, o diodo estará reversamente polarizado, fazendo a tensão de saída  $V_{out}$  ser idêntica à de entrada  $V_{in}$ . Os gráficos mostrados na sequência são para a tensão de entrada em azul e para a tensão de saída na carga em vermelho.

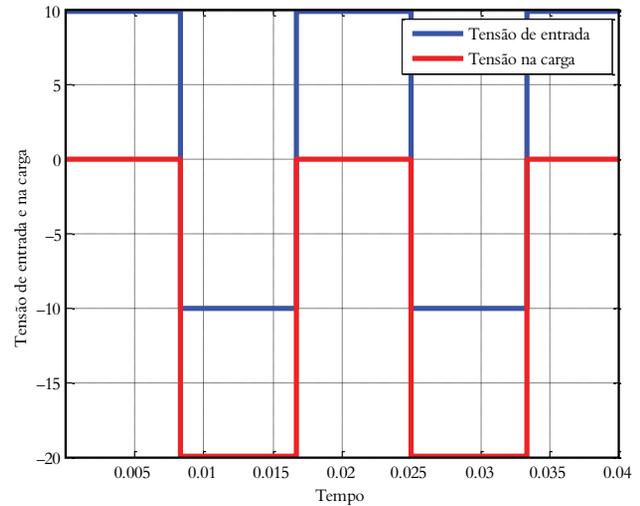
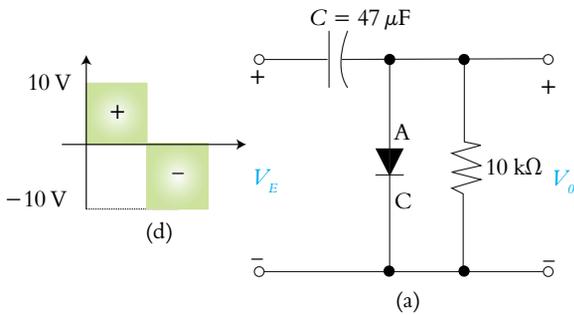


## Capítulo 5

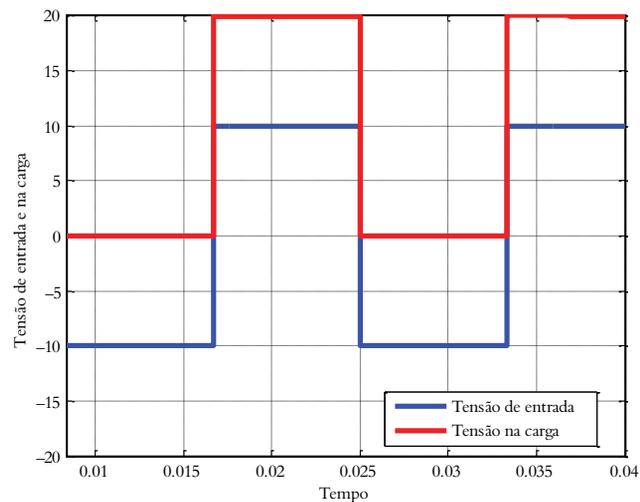
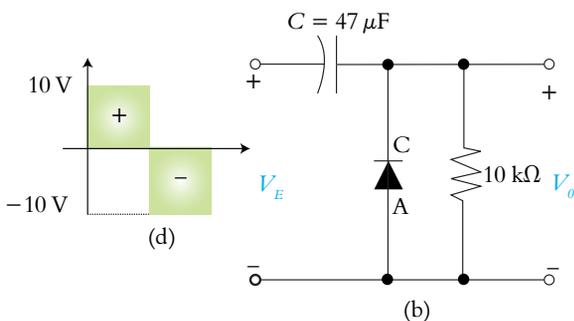
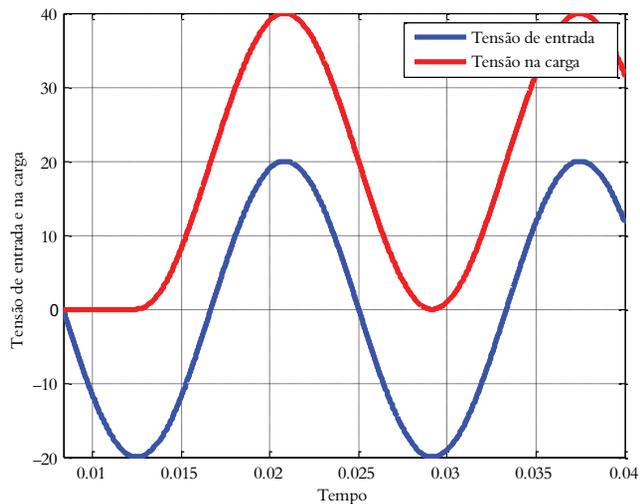
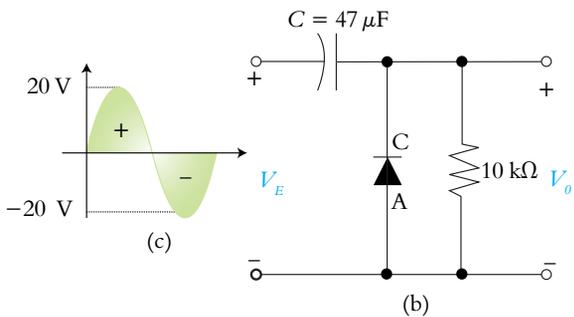
### Respostas – página 144

- 1) Para avaliar o funcionamento dos circuitos grameadores e obter a forma de onda de tensão na carga, deve-se começar as análises sempre no sentido da tensão de entrada que polariza diretamente o diodo semicondutor. Assumindo diodos ideais, nos dois primeiros circuitos mostrados na sequência deve-se iniciar analisando pelo semiciclo positivo do sinal de entrada. Dessa forma, o diodo torna-se diretamente polarizado e a tensão na carga é inicialmente nula, conforme gráficos a seguir. Para a onda senoidal o capacitor carrega com o valor de pico da tensão de entrada, que vale 20 V. A tensão de entrada começa a decrescer e, como a tensão no capacitor é praticamente constante, a tensão na carga começa a decrescer negativamente até chegar  $-40$  V. Isso ocorre porque o diodo “abre” com o decrescimento da tensão de entrada (quando a tensão de entrada é menor que a tensão do capacitor). Quando a tensão de alimentação senoidal passa para o semiciclo negativo o diodo continua reversamente polarizado. Nas análises cujas alimentações são feitas com ondas quadradas, as análises são mais objetivas. No semiciclo positivo do sinal de entrada, o diodo está diretamente polarizado, e o capacitor carrega com 10 V. Nesse intervalo, a tensão na carga é nula. Quando a tensão da fonte passa a ser negativa (instantaneamente), o diodo fica reversamente polarizado, e a partir da L.T.K no circuito obtém-se uma tensão na carga de  $-20$  V ( $-V_E - V_C - V_o = 0 \rightarrow -10 - 10 - V_o = 0 \rightarrow V_o = -20$  V).

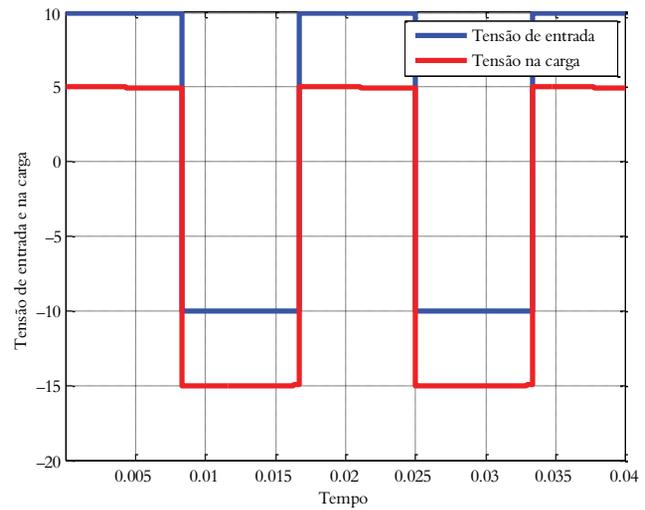
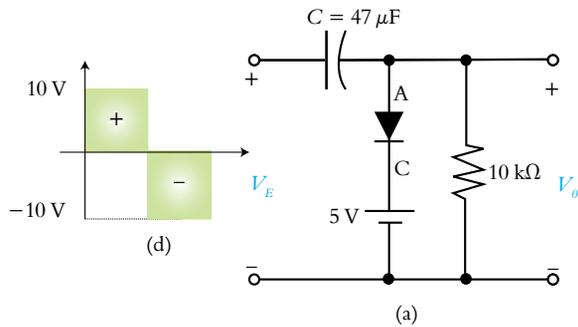
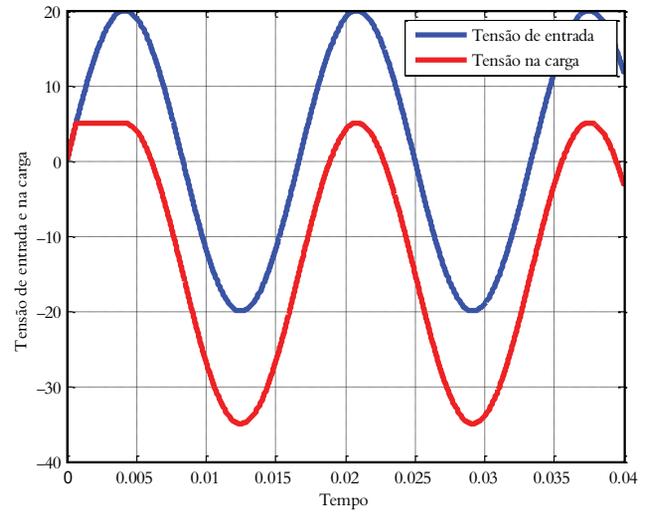
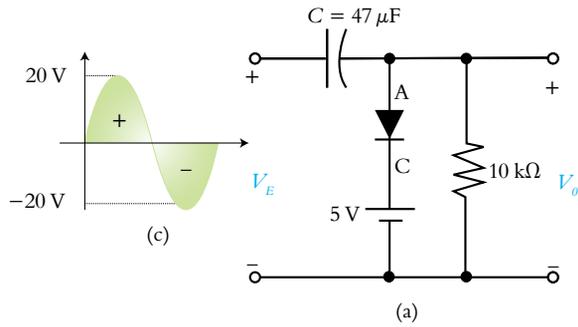




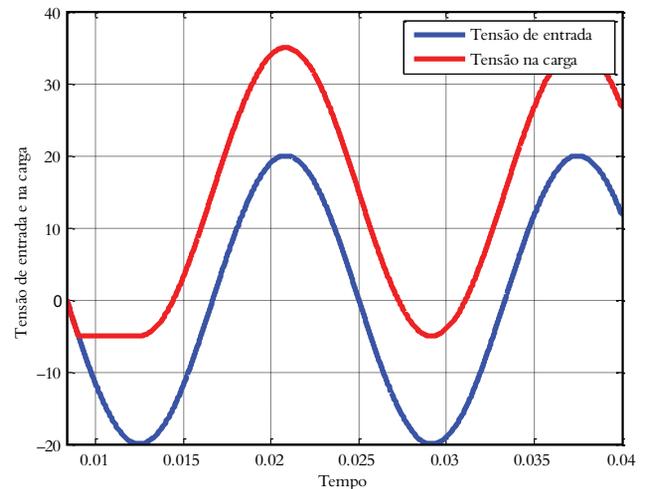
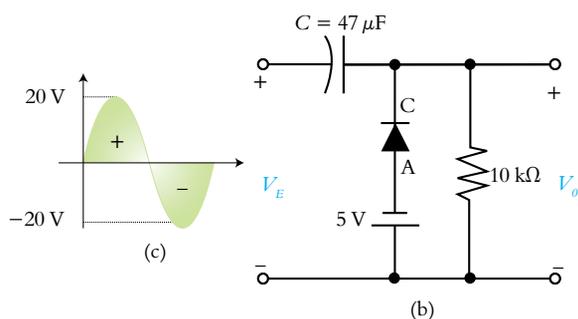
Quando o diodo é invertido, deve-se iniciar a análise pelo semiciclo negativo do sinal de entrada. Isso fará com que a tensão na carga também seja invertida comparada àquela obtida nas análises anteriores. Na sequência, são mostrados os resultados obtidos a partir do circuito elétrico com o diodo invertido.

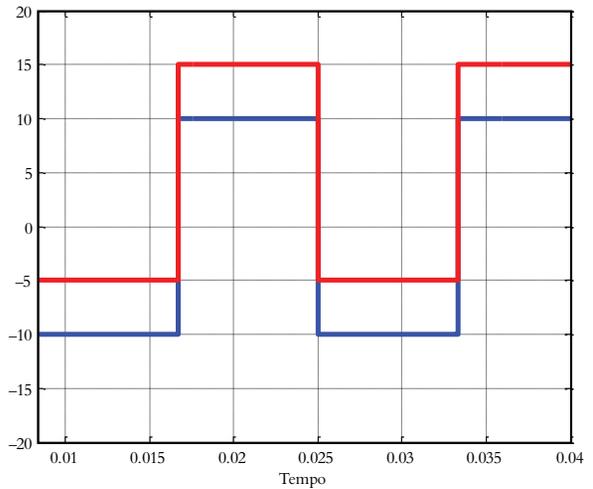
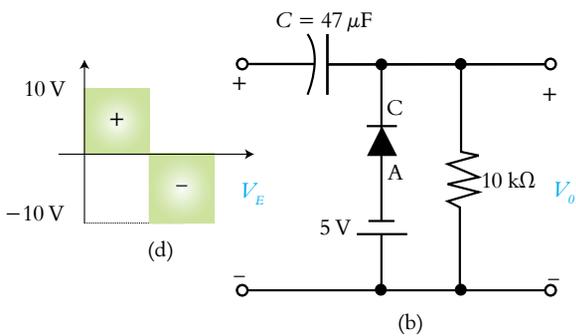


- 2) Deve-se iniciar as análises pelo semiciclo positivo, pois, nesse semiciclo, consegue-se polarizar diretamente o diodo semiconductor. A tensão na carga com o diodo conduzindo é 5 V. Após o término do carregamento do capacitor e quando a tensão de entrada passa a decrescer a tensão na carga cai e passa para o semiciclo negativo. Na sequência, são mostrados os gráficos para a tensão de entrada e na carga.

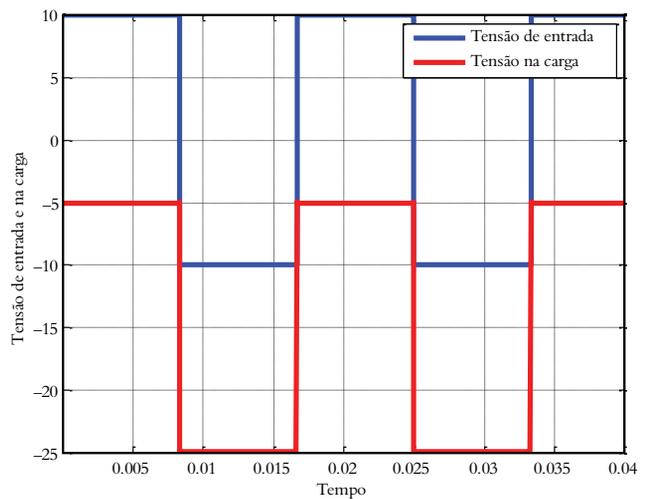
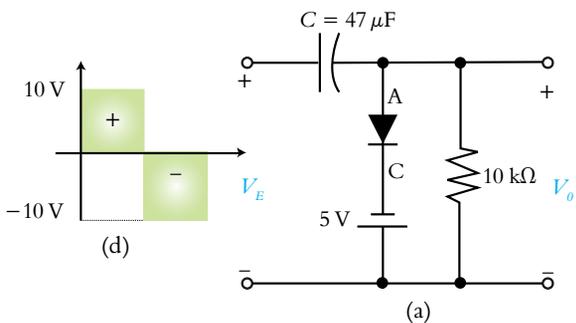
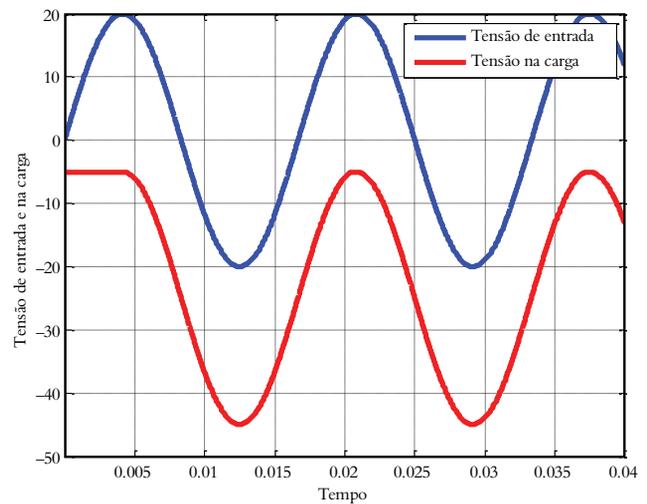
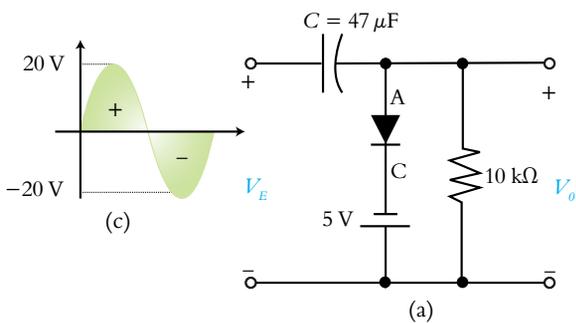


Quando o diodo é invertido, deve-se iniciar as análises pelo semiciclo negativo do sinal de entrada. Isso fará com que a tensão na carga também seja invertida comparada àquela obtida nas análises anteriores. Na sequência, são mostrados os resultados obtidos a partir do circuito elétrico com o diodo invertido.

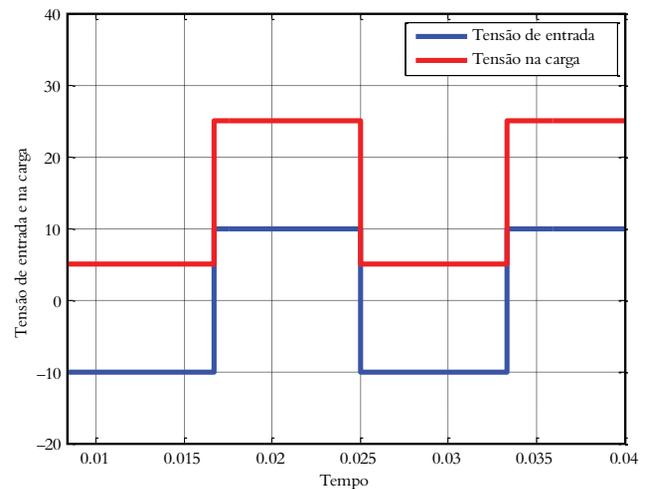
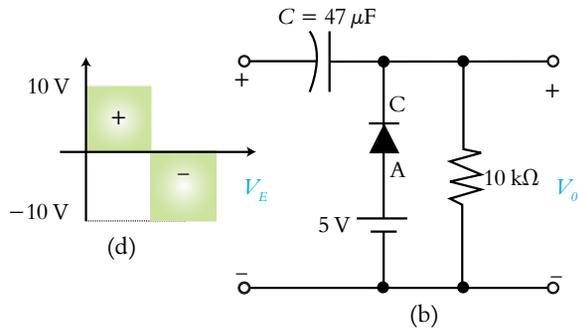
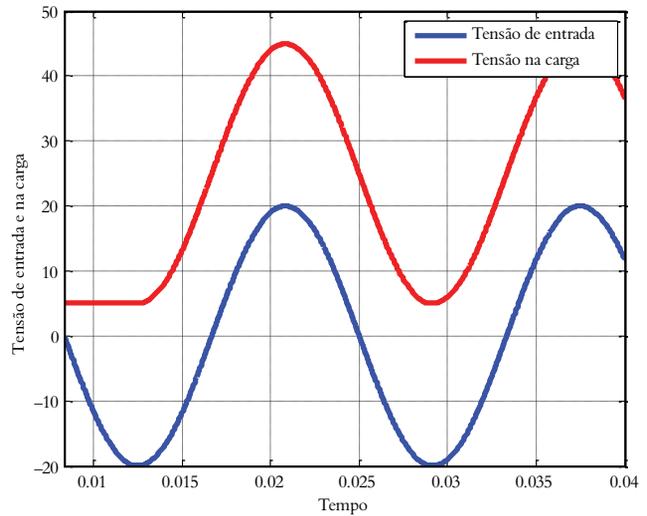
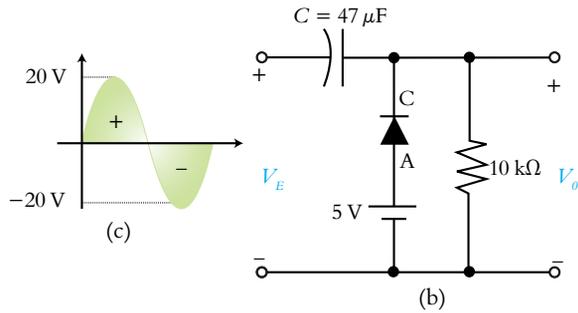




- 3) Deve-se iniciar as análises pelo semiciclo positivo, pois, nesse semiciclo, consegue-se polarizar diretamente o diodo semiconductor. A tensão na carga com o diodo conduzindo é  $-5 \text{ V}$ . Após o término do carregamento do capacitor e quando a tensão de entrada passa a decrescer, a tensão na carga cai e passa para o semiciclo negativo. Na sequência, são mostrados os gráficos para a tensão de entrada e na carga.

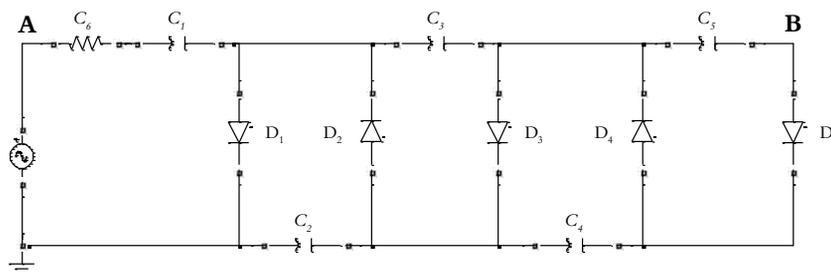


Quando o diodo é invertido, deve-se iniciar a análise pelo semiciclo negativo do sinal de entrada. Isso fará com que a tensão na carga também seja invertida comparada àquela obtida nas análises anteriores. Na sequência, são mostrados os resultados obtidos a partir do circuito elétrico com o diodo invertido.



- 4) O circuito para o multiplicador de tensão por cinco é mostrado na figura a seguir. A tensão de entrada é fornecida por uma fonte alternada de 12 (valor de pico) e a tensão de saída é de aproximadamente 60 V retificada (contínua).

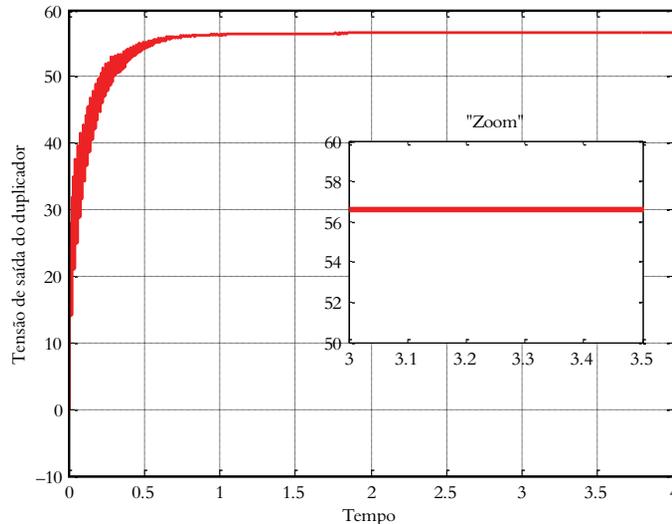
59.99  
VAB



5) O valor máximo da tensão na saída de um dobrador é obtido da forma:

$$V_{max} = (20\sqrt{2}) \cdot 2 \Rightarrow V_{max} \cong 56,56 \text{ V}$$

A figura a seguir mostra um resultado simulado para um circuito duplicador de tensão. Conforme visualizado, a tensão na saída é praticamente constante e igual ao esperado.



## Capítulo 6

### Respostas – página 168

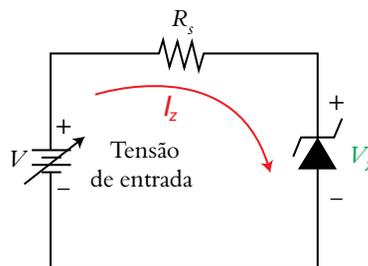
1) Dado o circuito a seguir e seus respectivos parâmetros, tem-se:

$$V_z = 5,1 \text{ V}$$

$$I_{Zmin} = 1 \text{ mA}$$

$$I_{Zmax} = 178 \text{ mA}$$

$$P_{max} = 1 \text{ W}$$



Cálculo do valor mínimo da tensão de entrada:

$$V_{min} = R_{Smax} I_{Zmin} + V_z \Rightarrow$$

$$V_{min} = 220 \cdot 1 \times 10^{-3} + 5,1 \Rightarrow$$

$$V_{min} = 5,32 \text{ V}$$

Cálculo do valor máximo da tensão de entrada:

$$V_{max} = R_{Smin} I_{Zmax} + V_z \Rightarrow$$

$$V_{max} = 220 \cdot 178 \times 10^{-3} + 5,1 \Rightarrow$$

$$V_{max} = 44,26 \text{ V}$$

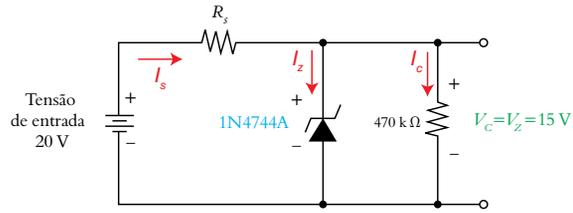
2)

$$V_Z = 15 \text{ V}$$

$$I_{Zmin} = 0,25 \text{ mA}$$

$$I_{Zmax} = 61 \text{ mA}$$

$$P_{max} = 1 \text{ W}$$



Cálculo do valor máximo da resistência série:

$$R_{Smax} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmin} + I_C}$$

A corrente da carga é constante e vale:

$$I_C = \frac{V_C}{R_C} = \frac{15}{470\ 000} = 31,91 \mu\text{A}$$

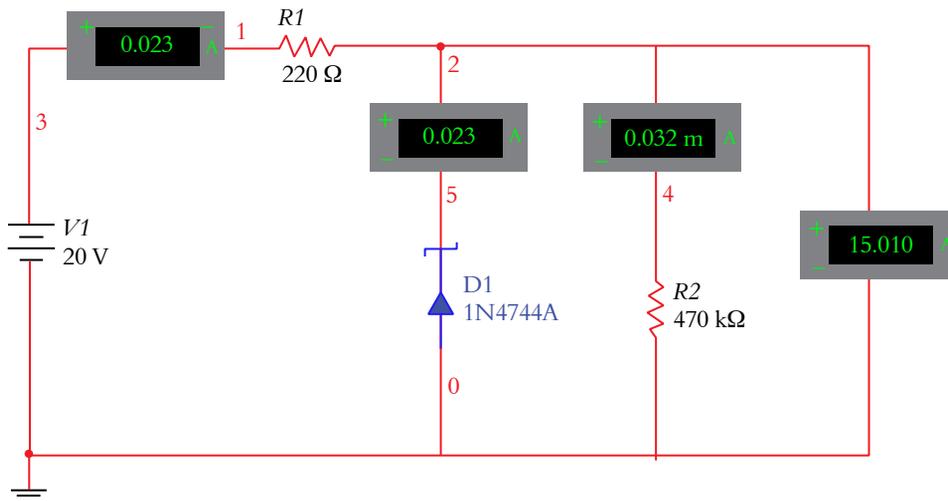
$$R_{Smax} = \frac{20 - 15}{0,25 \times 10^{-3} + 31,91 \times 10^{-6}} = 17,74 \text{ k}\Omega$$

Cálculo do valor mínimo da resistência série:

$$R_{Smin} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmax} + I_C}$$

$$R_{Smin} = \frac{20 - 15}{61 \times 10^{-3} + 31,91 \times 10^{-6}} = 81,92 \Omega$$

Os resultados de simulação são mostrados na figura a seguir. Observa-se pelo valor da tensão regulada que os valores de resistência proporcionam uma boa regulação de tensão. Os valores de resistências mínimas e máximas foram calculados e estão na faixa de 81,92  $\Omega$  até 17,74 k $\Omega$ . Para a simulação adotou-se um valor de 220  $\Omega$  para a resistência, o que proporcionou boa regulação de tensão.



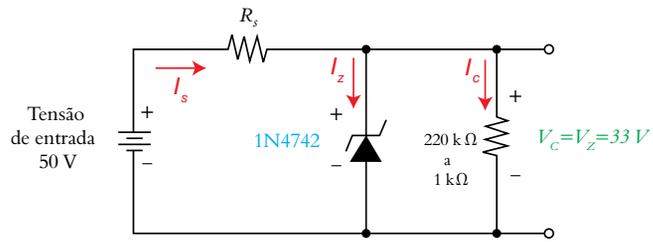
3)

$$V_Z = 33 \text{ V}$$

$$I_{Zmin} = 0,25 \text{ mA}$$

$$I_{Zmax} = 27 \text{ mA}$$

$$P_{max} = 1 \text{ W}$$



Cálculo do valor máximo da resistência série:

$$R_{Smax} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Cmax}}$$

A corrente da carga é constante e vale:

$$I_{Cmax} = \frac{V_C}{R_{Cmin}} = \frac{33}{220} = \boxed{150 \text{ mA}}$$

$$R_{Smax} = \frac{50 - 33}{0,25 \times 10^{-3} + 150 \times 10^{-3}} = \boxed{113,14 \Omega}$$

Cálculo do valor mínimo da resistência série:

$$R_{Smin} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Cmin}}$$

A corrente na carga vale:

$$I_{Cmin} = \frac{V_C}{R_{Cmax}} = \frac{33}{1000} = \boxed{33 \text{ mA}}$$

$$R_{Smin} = \frac{50 - 33}{27 \times 10^{-3} + 33 \times 10^{-3}} = \boxed{283,33 \Omega}$$

Como observado, o valor da resistência máxima é menor do que o da resistência mínima. Isso indica que os cálculos não levam a resultados coerentes. Uma simples alteração nos valores mínimo e máximo das resistências de carga para 2,2 kΩ e 22 kΩ, respectivamente, oferece resultados mais condizentes com a realidade, conforme evidenciado a seguir:

Cálculo do valor máximo da resistência série:

$$R_{Smax} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Cmax}}$$

A corrente da carga é constante e vale:

$$I_{Cmax} = \frac{V_C}{R_{Cmin}} = \frac{33}{2200} = \boxed{15 \text{ mA}}$$

$$R_{Smax} = \frac{50 - 33}{0,25 \times 10^{-3} + 15 \times 10^{-3}} = \boxed{1,114 \text{ k}\Omega}$$

Cálculo do valor mínimo da resistência série:

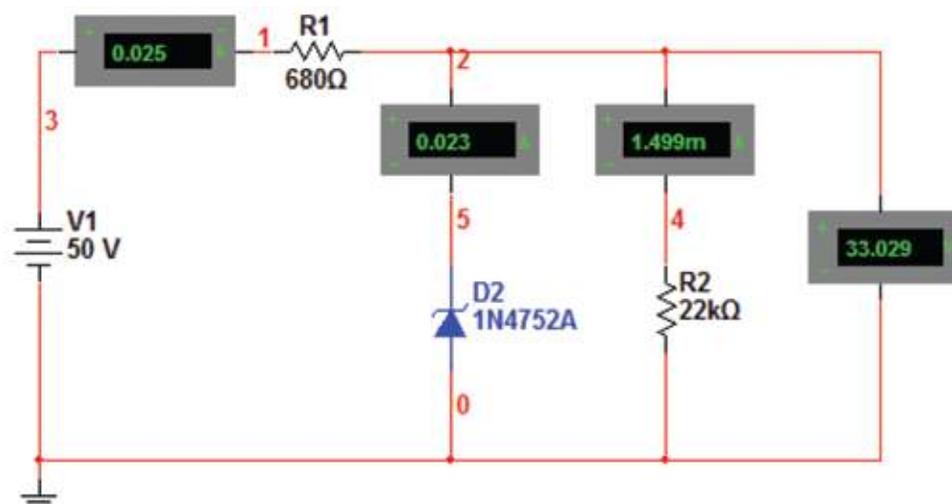
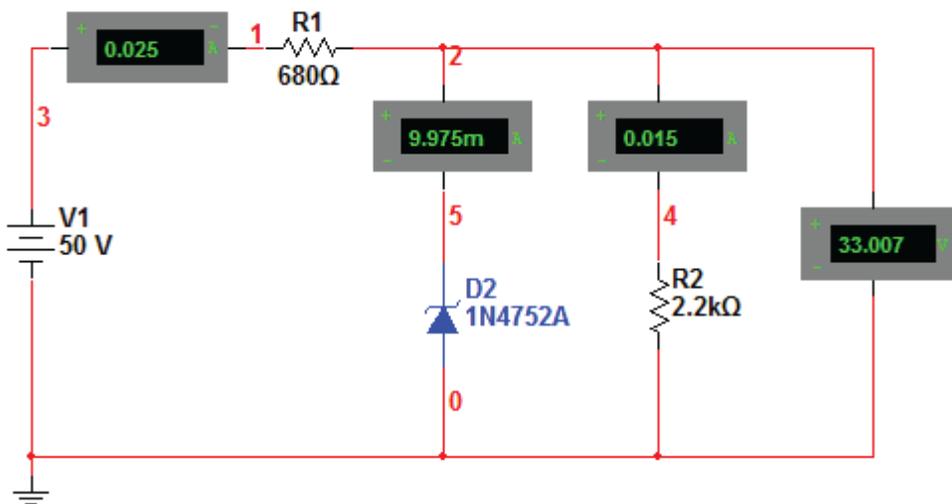
$$R_{Smin} = \frac{V - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Cmin}}$$

A corrente na carga vale:

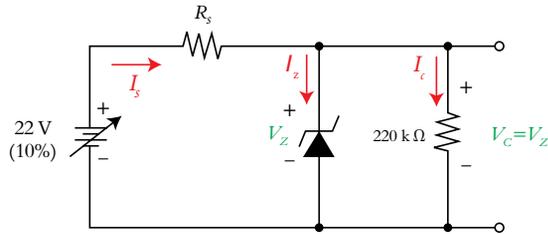
$$I_{Cmin} = \frac{V_C}{R_{Cmax}} = \frac{33}{22\,000} = \boxed{1,5\text{ mA}}$$

$$R_{Smin} = \frac{50 - 33}{27 \times 10^{-3} + 1,5 \times 10^{-3}} = \boxed{596,5\ \Omega}$$

Esse resultado está mais coerente e será utilizado na simulação um resistor limitador série de  $680\ \Omega$ , que está na faixa dos valores calculados. Na figura a seguir, são mostrados os resultados para uma carga de  $2,2\ \text{k}\Omega$ , e posteriormente para  $22\ \text{k}\Omega$ . Nesses dois casos, a resistência série teve seu valor fixado em  $680\ \Omega$ . Observa-se pelo voltímetro colocado em paralelo com a carga que a tensão é praticamente idêntica aos  $33\ \text{V}$  fornecido pelo fabricante.



4)  $V_Z = 6,8 \text{ V}$   
 $I_{Zmin} = 1 \text{ mA}$   
 $I_{Zmax} = 133 \text{ mA}$   
 $P_{max} = 1 \text{ W}$



Cálculo do valor máximo da resistência série:

$$R_{Smax} = \frac{V_{min} - V_Z}{I_{Zmin} + I_C}$$

A corrente da carga é constante e vale:

$$I_C = \frac{V_C}{R_C} = \frac{6,8}{220} = \boxed{30,91 \text{ mA}}$$

Cálculo do valor mínimo da tensão de entrada:

$$V_{min} = 22 - 10\% = 22 - \left(\frac{22 \cdot 10}{100}\right) = 22 - 2,2 \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{min} = 19,8 \text{ V}}$$

$$R_{Smax} = \frac{19,8 - 6,8}{1 \times 10^{-3} + 30,91 \times 10^{-3}} = \boxed{407,4 \Omega}$$

Cálculo do valor mínimo da resistência série:

$$R_{Smin} = \frac{V_{max} - V_Z}{I_{Zmax} + I_C}$$

A corrente da carga é constante e vale:

$$I_C = \frac{V_C}{R_C} = \frac{6,8}{220} = \boxed{30,91 \text{ mA}}$$

Cálculo do valor máximo da tensão de entrada:

$$V_{max} = 22 + 10\% = 22 + \left(\frac{22 \cdot 10}{100}\right) = 22 + 2,2 \Rightarrow$$

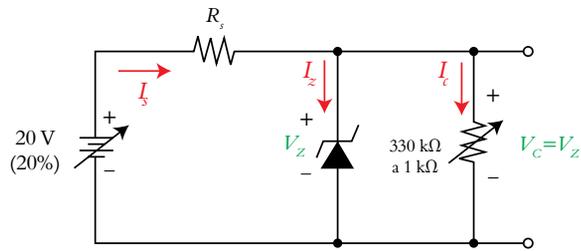
$$\boxed{V_{max} = 24,2 \text{ V}}$$

$$R_{Smin} = \frac{24,2 - 6,8}{133 \times 10^{-3} + 30,91 \times 10^{-3}} = \boxed{106,15 \Omega}$$

A resistência série deverá estar entre  $106,15 \Omega$  e  $407,4 \Omega$ , podendo-se escolher qualquer valor nessa faixa. Para elaborar a simulação computacional, foi selecionado  $R_S = 220 \Omega$ . A figura a seguir mostra os resultados obtidos em que foram alterados os valores na tensão de entrada em 10%, ou seja,  $V_{min} = 19,8 \text{ V}$  e  $V_{max} = 24,2 \text{ V}$ . Verifica-se que mesmo com essas alterações na entrada, a saída continua com uma boa regulação nos dois casos.



- 5)  $V_Z = 4,7\text{ V}$   
 $I_{Zmin} = 1\text{ mA}$   
 $I_{Zmax} = 193\text{ mA}$   
 $P_{max} = 1\text{ W}$



Cálculo do valor máximo da resistência série:

$$R_{Smin} = \frac{V_{min} - V_Z}{I_{Zmin} + I_{Cmax}}$$

A corrente na carga máxima ocorre quando a resistência de carga é mínima, da forma:

$$I_{Cmax} = \frac{V_C}{R_{Cmin}} = \frac{4,7}{330} = \boxed{14,24\text{ mA}}$$

Cálculo do valor mínimo da tensão de entrada:

$$V_{min} = 20 - 20\% = 20 - \left(\frac{20 \cdot 20}{100}\right) = 20 - 4 \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{min} = 16\text{ V}}$$

$$R_{Smax} = \frac{16 - 4,7}{1 \times 10^{-3} + 14,24 \times 10^{-3}} = \boxed{741,47\ \Omega}$$

Cálculo do valor mínimo da resistência série:

$$R_{Smin} = \frac{V_{max} - V_Z}{I_{Zmax} + I_{Cmin}}$$

A corrente da carga mínima ocorre quando a resistência de carga é máxima, da forma:

$$I_{Cmin} = \frac{V_C}{R_{Cmax}} = \frac{4,7}{1\ 000} = \boxed{4,7\ \text{mA}}$$

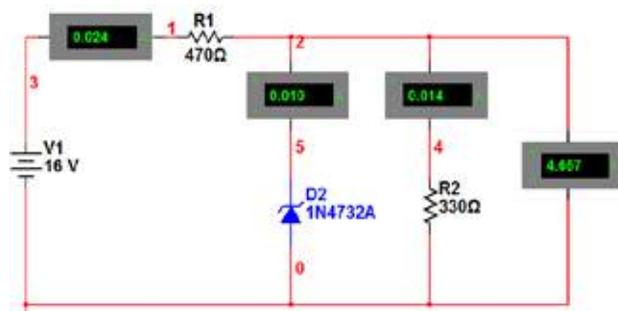
Cálculo do valor máximo da tensão de entrada:

$$V_{max} = 20 - 20\% = 20 + \left(\frac{20 \cdot 20}{100}\right) = 20 + 4 \Rightarrow$$

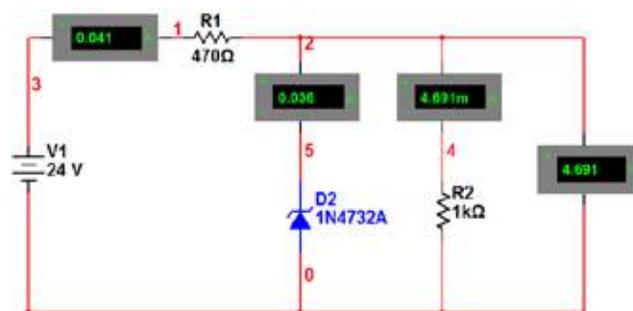
$$\boxed{V_{max} = 24\ \text{V}}$$

$$R_{Smin} = \frac{24 - 4,7}{193 \times 10^{-3} + 4,7 \times 10^{-3}} = \boxed{97,62\ \Omega}$$

Os resultados calculados mostram que a resistência série poderá ser projetada entre 97,62  $\Omega$  e 741,47  $\Omega$ . Adotaremos um valor comercial de 470  $\Omega$ . As figuras a seguir mostram os resultados obtidos com o MultiSim para duas condições distintas de alimentação e carga. Na primeira simulação, a tensão de alimentação é decrescida em 20% e a resistência da carga é mínima. Na segunda simulação, a tensão de alimentação foi acrescida em 20% e a resistência de carga é máxima.

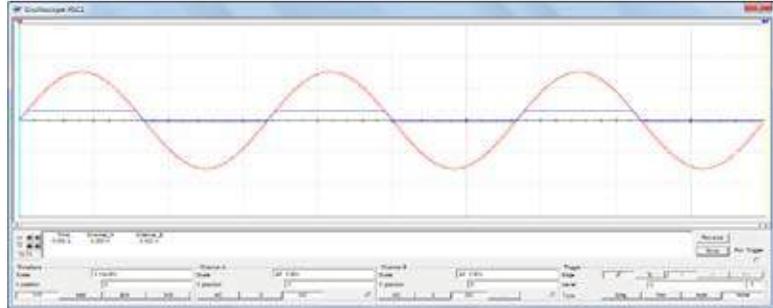
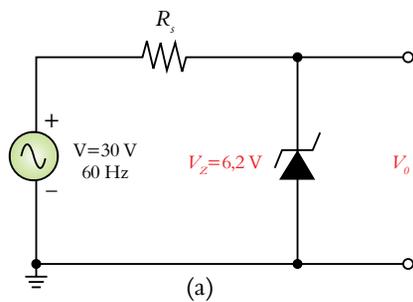


Tensão de entrada mínima (16 V) e resistência na carga mínima (330  $\Omega$ )

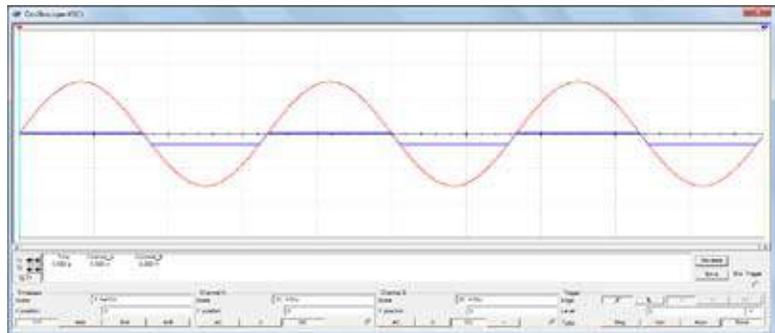
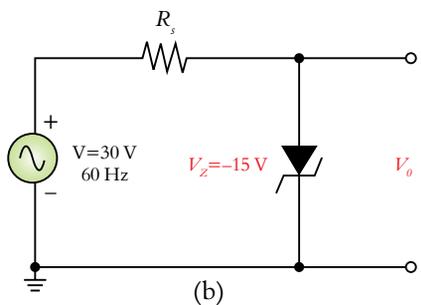


Tensão de entrada máxima (36 V) e resistência na carga máxima (22 k $\Omega$ )

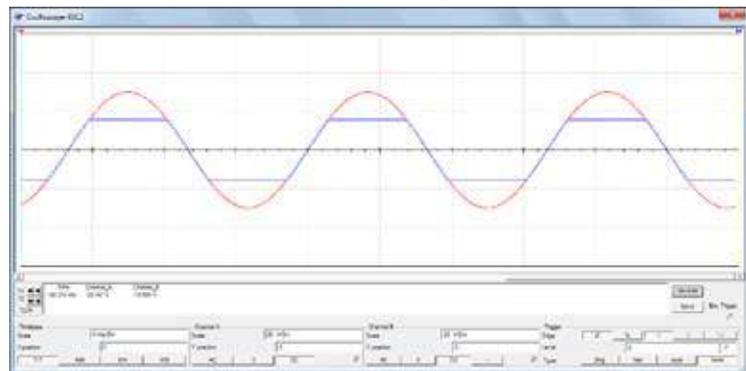
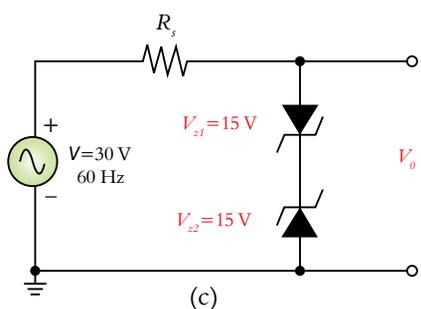
- 6) A figura (a) mostra o limitador positivo. No semiciclo positivo da tensão de entrada, enquanto o sinal de entrada for menor que a tensão Zener de projeto, que no caso particular vale 6,2 Volts, o diodo Zener funcionará como uma chave aberta. No momento em que a tensão de entrada for igual à tensão Zener, o diodo polariza e funciona como uma fonte contínua. No semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo Zener estará diretamente polarizado e a tensão na saída será de apenas 0,7 V.



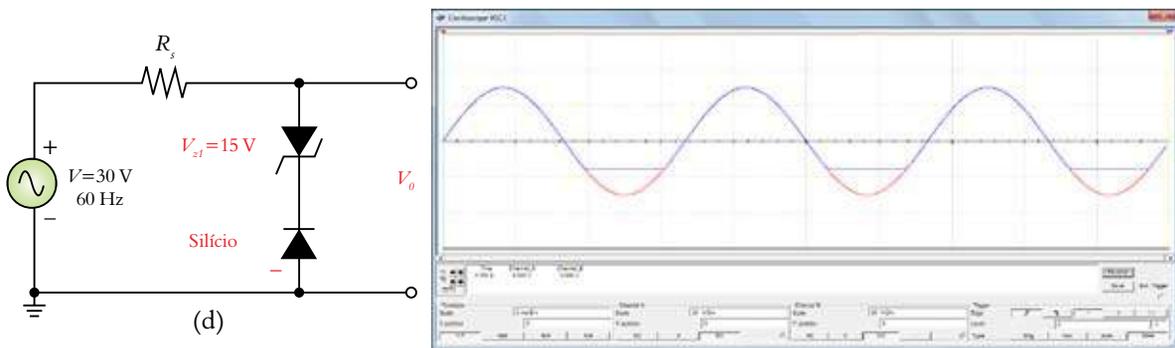
Na figura (b), quando a tensão de entrada estiver no semiciclo positivo, o diodo estará diretamente polarizado e a tensão de saída será de 0,7 V. No semiciclo negativo, o Zener tornar-se-á reversamente polarizado e limitar-se-á à tensão de saída no valor da tensão Zener, fornecida pelo fabricante que, nesse caso, é de 15 Volts.



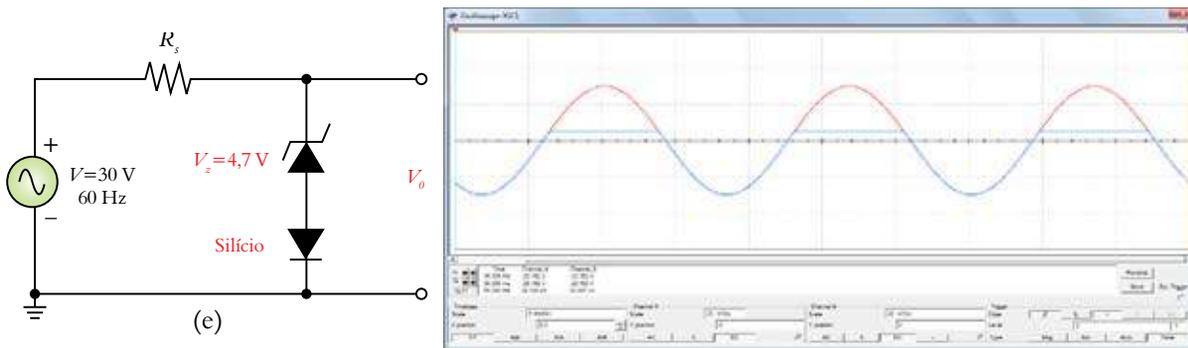
A figura (c) mostra uma configuração de diodos Zener que limita a tensão de saída nos semiciclos positivo e negativo. No semiciclo positivo do sinal de entrada, o diodo Zener superior está diretamente polarizado e o diodo Zener inferior está reversamente polarizado. Com isso, a tensão de saída será limitada no valor da tensão Zener do diodo inferior mais a queda de 0,7 V do diodo superior ( $15 + 0,7 = 15,7 \text{ V}$ ). No semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo Zener superior está reversamente polarizado e o diodo Zener inferior está diretamente polarizado. Com isso, a tensão de saída será limitada no valor da tensão Zener do diodo superior menos a queda de 0,7 V do diodo inferior ( $-15 - 0,7 = -15,7 \text{ V}$ ).



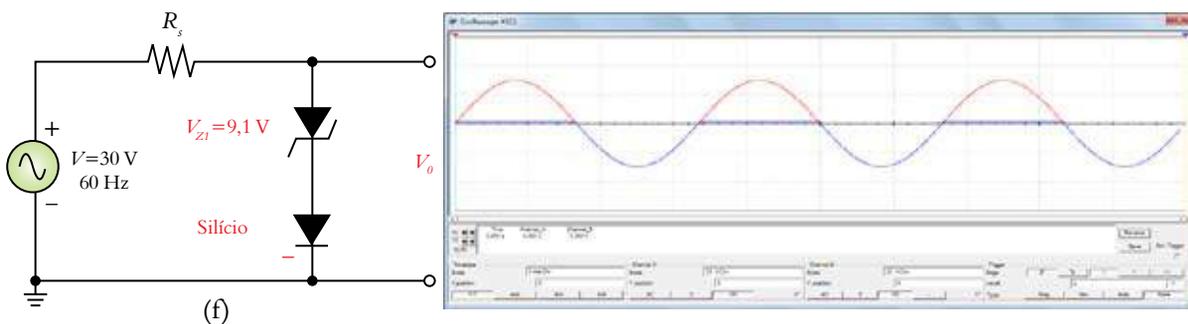
No circuito da figura (d) o diodo Zener superior está diretamente polarizado, entretanto abaixo está um diodo de silício reversamente polarizado. Isso indica que no semiciclo positivo da tensão de entrada o circuito está “aberto” e, portanto, a tensão de saída é igual à de entrada. No semiciclo negativo, o diodo de silício encontra-se diretamente polarizado, e o diodo Zener reversamente polarizado. Esse circuito irá limitar a tensão negativa em  $-15,7\text{ V}$ , que equivale à soma da tensão de projeto do Zener com a queda de tensão de  $0,7\text{ V}$  no diodo de silício.



No circuito da figura (e), olhando inicialmente o semiciclo positivo da entrada, o diodo Zener está reversamente polarizado, entretanto abaixo está um diodo de silício encontra-se diretamente polarizado. Isso indica que esse circuito irá limitar a tensão positiva em  $5,4\text{ Volts}$ , que equivale à soma da tensão de projeto do Zener com a queda de tensão de  $0,7\text{ V}$  no diodo de silício. No semiciclo negativo, o diodo de silício está reversamente polarizado, bloqueando a passagem de corrente e fazendo com que a tensão de saída seja igual à de entrada.



No circuito apresentado na figura (f) tanto o diodo de silício quanto o Zener estão diretamente polarizado. Com isso, a tensão de saída nesse semiciclo vale  $1,4\text{ Volts}$ , que é praticamente imperceptível no gráfico mostrado na sequência. No semiciclo negativo do sinal de entrada, o diodo de silício fica reversamente polarizado, fazendo com que a tensão para a carga seja idêntica à de alimentação do circuito.

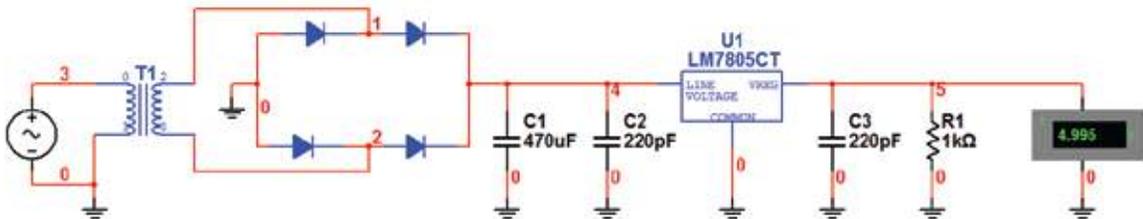


## Capítulo 7

### Respostas – página 179

- 1)
  - a. A tensão de saída do regulador fixo LM7805 é +5 Volts (positivo).
  - b. A tensão de saída do regulador fixo LM7806 é +6 Volts (positivo).
  - c. A tensão de saída do regulador fixo LM7809 é +9 Volts (positivo).
  - d. A tensão de saída do regulador fixo LM7815 é +15 Volts (positivo).
  - e. A tensão de saída do regulador fixo LM7824 é +24 Volts (positivo).
  - f. A tensão de saída do regulador fixo LM7912 é -12 Volts (negativo).
  - g. A tensão de saída do regulador fixo LM7924 é -24 Volts (negativo).
  - h. A tensão de saída do regulador fixo LM7908 é -8 Volts (negativo).
- 2) O projeto de regulador de tensão é mostrado no esquema abaixo. Para a construção desse regulador, foram utilizados os componentes:
  - Quatro diodos de silício 1N4007;
  - Um transformador monofásico com tensão de alimentação de 220 V e relação de transformação de 1:15;
  - Um capacitor eletrolítico de 470  $\mu\text{F}$ ;
  - Dois capacitores de poliéster de 220 pF;
  - Um regulador de tensão, modelo LM 7805.

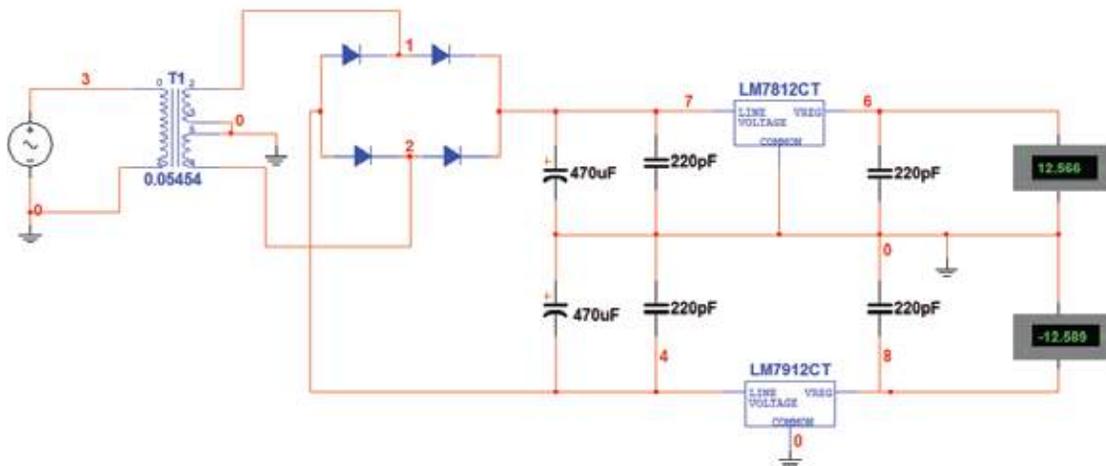
Na saída do circuito, foi inserido um voltímetro. Conforme visualizado, a tensão de saída é de praticamente 5 Volts, atestando a funcionalidade do circuito.



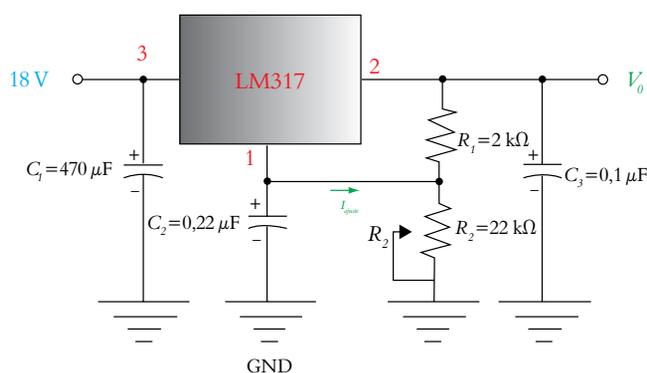
- 3) O circuito mostrado a seguir é de um regulador de tensão cuja saída é mantida em +12 Volts e na outra -12 Volts.

Para o projeto, foram utilizados os seguintes componentes:

- Quatro diodos de silício 1N4007 para a construção do retificador de onda completa em ponte;
- Um (transformador monofásico com tomada central cuja tensão de alimentação é de 220 V e relação de transformação de 1:10);
- Dois capacitores eletrolítico de 470  $\mu\text{F}$ ;
- Quatro capacitores de poliéster de 220 pF;
- Um regulador de tensão, modelo LM 7812 para regulação em +12 V;
- Um regulador de tensão, modelo LM 7912 para regulação em -12 V.



4)



Geralmente, a primeira consideração que se faz é que:

$$V_{ref} \cong 1,25 \text{ V e } I_{ajuste} \cong 50 \mu\text{A}; V_o = V_{ref} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 I_{ajuste}$$

Portanto:

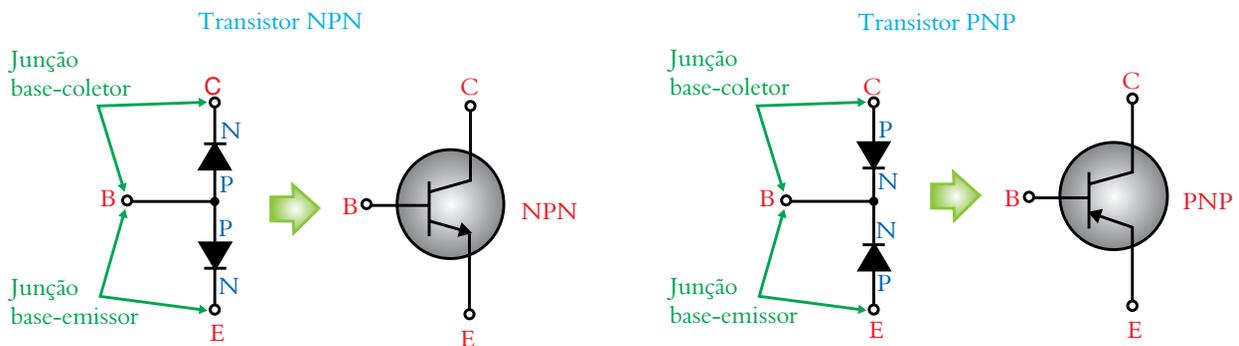
$$V_o = 1,25 \left( 1 + \frac{22\,000}{2\,000} \right) + 22\,000 \cdot 50 \times 10^{-6} \Rightarrow V_o = 16,1\text{V}$$

## Capítulo 8

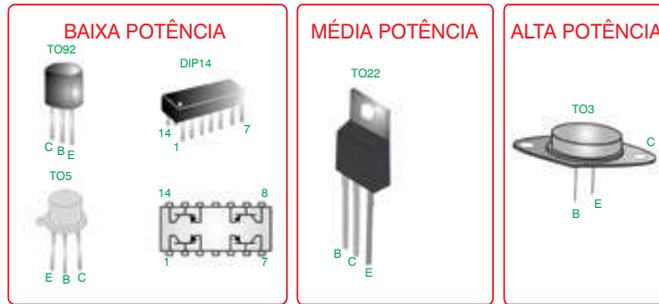
### Respostas – página 193

- 1) Embora as válvulas sejam ainda muito utilizadas, existe uma infinidade de vantagens dos transistores bipolares de junção comparados a esses dispositivos. Dentre as principais podem ser destacados:
  - São menores e mais leves;
  - Possuem vida útil elevada;
  - Têm baixo consumo de energia;
  - São bem mais resistentes;
  - Geralmente, possuem custo reduzido;

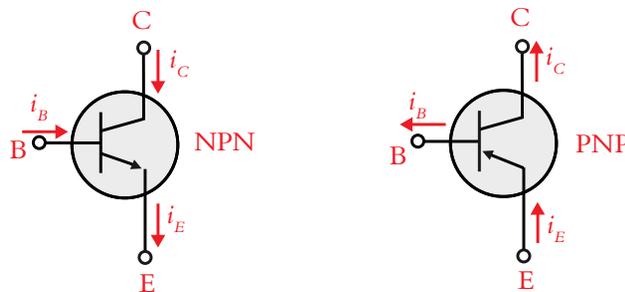
- Dissipam menor quantidade de potência e, conseqüentemente dissipam também menos calor;
  - São mais confiáveis e eficientes;
  - Não necessitam de um tempo inicial para aquecimento tal como requerido pelas válvulas.
- 2) Os transistores bipolares de junção, abreviados por TBJ são basicamente classificados, conforme sua característica construtiva em dois grandes grupos, que são: Transistores NPN – Negativo-Positivo-Negativo e Transistores PNP – Positivo-Negativo-Positivo.
  - 3) A figura a seguir mostra o esquema, com diodos, para os transistores NPN e PNP.



- 4) Terminal do coletor, terminal da base e terminal do emissor.
- 5) O transistor é formado por duas junções, que são junção base-emissor e junção base-coletor. Geralmente, essas junções são também nomeadas por junção N-P e P-N para os transistores NPN e junção P-N e N-P para os transistores PNP.
- 6) Os encapsulamentos servem basicamente para proteger os transistores contra umidade e poeira. Além disso, como muitos encapsulamentos são feitos de metal, servem também para dissipar o excesso de calor nos transistores de maior potência. Existem encapsulamentos dos mais diversos formatos e tamanhos. Geralmente, os transistores de menor potência são hermeticamente fechados em cápsulas plásticas ou epóxi. Transistores de média/alta potência são inseridos em caixas metalizadas, justamente para que possam dissipar uma quantidade maior de potência. Lembrando que há também a necessidade do uso de dissipadores de calor nesses casos. Algumas aplicações exigem que os transistores sejam montados em placas de circuito impresso. Para isso, é usado um tipo especial de encapsulamento chamado DIP. A seguir, é mostrada uma figura que evidencia os principais tipos de encapsulamentos para baixa, média e alta potências. Nos diodos emissores de luz (LED), é usado um material plástico transparente para que seja possível a visualização do correto funcionamento. Basicamente, podemos classificar os encapsulamentos em códigos, como: TO92, TO5, TO220, TO3, DIP, entre outros.



- 7) Num transistor, seja ele NPN ou PNP, existem basicamente três correntes circulantes, que são: corrente de coletor, corrente da base e corrente de emissor. Essas correntes estão dispostas no transistor, conforme figura a seguir para os transistores NPN e PNP.



**Onde:**  $i_C$  = corrente de coletor;  $i_E$  = corrente de emissor;  $i_B$  = corrente de base.

- 8) Conforme figura anterior, pode-se obter uma relação matemática única para as correntes que circulam nos transistores, que é:

Para os transistores NPN:

$$i_B + i_C - i_E = 0 \Rightarrow i_E = i_B + i_C$$

Para os transistores PNP:

$$i_E - i_C - i_B = 0 \Rightarrow i_E = i_B + i_C$$

- 9) Conforme pode ser comprovado matematicamente nas expressões mostradas anteriormente, a maior de todas as correntes é a corrente de emissor ( $i_E$ ). Como a base é muito fina e levemente dopada a corrente de base ( $i_B$ ) é a menor.
- 10) A expressão que mostra a relação entre a corrente de coletor e emissor é:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B$$

Em algumas situações, também é utilizado o ganho alfa, que define a relação existente entre as correntes de emissor e coletor. Entretanto, como as correntes de emissor e coletor são praticamente idênticas, essa relação é quase unitária.

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$$

11) Dados:

$$I_B = 100 \mu\text{A}$$

$$\beta = 200$$

Sabendo-se que:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I_C = 200 \cdot 100 \times 10^{-6} \Rightarrow I_C = 20 \text{ mA}$$

A corrente de emissor é aproximadamente igual à de coletor e vale:  $I_E = 20 \text{ mA}$

12) Dados:

$$I_B = 10 \mu\text{A} \text{ e } I_C = 100 \text{ mA}$$

Sabendo-se que:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \beta = \frac{100 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} \Rightarrow \beta = 10\,000$$

13) Existe uma relação entre a corrente de coletor e a corrente que flui pela base. Essa relação é chamada de ganho de corrente do transistor e, tradicionalmente, é representada pela letra grega beta ( $\beta$ ). Outra notação bastante empregada na prática e por alguns fabricantes é o  $h_{FE}$ . As duas notações ( $\beta$  e  $h_{FE}$ ) têm o mesmo significado prático.

14)  $\beta = ? ; I_E = ?$

$$I_B = 20 \mu\text{A} \text{ e } I_C = 10 \text{ mA}$$

Sabendo-se que:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow \beta = \frac{10 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} \Rightarrow \beta = 500$$

$$I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = 10 \times 10^{-3} + 20 \times 10^{-6} \Rightarrow I_E = 10,02 \text{ mA}$$

15) a.  $I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{10\,000} = 430 \mu\text{A}$

b. A corrente do coletor é obtida por:  $I_C = \beta I_B$

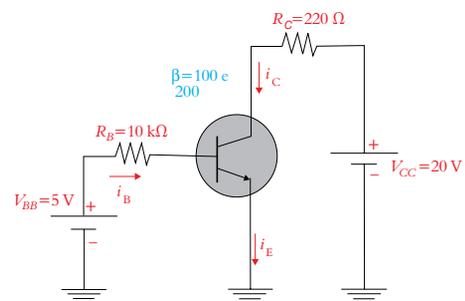
Para  $\beta = 100$

$$I_C = 100 \cdot 430 \times 10^{-6} \Rightarrow I_C = 43 \text{ mA}$$

c. A corrente do emissor é obtida por:

$$I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = 43 \times 10^{-3} + 430 \times 10^{-6} \Rightarrow I_E = 43,43 \text{ mA}$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \Rightarrow \alpha = \frac{43 \times 10^{-3}}{43,43 \times 10^{-3}} \Rightarrow \alpha = 0,99$$



Para  $\beta = 200$

$$I_C = 200 \cdot 430 \times 10^{-6} \Rightarrow I_C = 86 \text{ mA}$$

d. A corrente do emissor é obtida por:

$$I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = 86 \times 10^{-3} + 430 \times 10^{-6} \Rightarrow I_E = 86,43 \text{ mA}$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \Rightarrow \alpha = \frac{86 \times 10^{-3}}{86,43 \times 10^{-3}} \Rightarrow \alpha = 0,99$$

16) O ganho de beta( $\beta$ ) pode ser obtido da forma:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,95}{1-0,95} \Rightarrow \beta = 19$$

$$I_E = 2 \text{ mA}$$

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \Rightarrow 0,95 = \frac{I_C}{2 \times 10^{-3}} \Rightarrow I_C = 1,9 \text{ mA}$$

## Capítulo 9

### Respostas - página 227

1)



#### OBSERVAÇÃO:

1) NAS LEITURAS VERIFICOU-SE QUE A RESISTÊNCIA DO TERMINAL "3" PARA O TERMINAL "1" É MENOR QUE A RESISTÊNCIA DO TERMINAL "3" PARA O TERMINAL "2".

2) MEDINDO A RESISTÊNCIA DO TERMINAL "2" PARA O TERMINAL "1", OBSERVA-SE QUE NÃO HÁ CONTINUIDADE E O VALOR DE RESISTÊNCIA É ALTO.

Inicialmente, vamos adotar o terminal "3" como sendo a base.

#### Ponteira vermelha inserida na base

- Do terminal "3" para o terminal "2" a resistência é baixa;
- Do terminal "3" para o terminal "1" a resistência é baixa.

#### Ponteira preta inserida na base

- Do terminal "3" para o terminal "2" a resistência é alta;
- Do terminal "3" para o terminal "1" a resistência é alta.

Dessa forma, pode-se concluir que o terminal “3” é a base, pois as leituras de resistência são simétricas. Isso quer dizer que um dos outros dois terminais é o coletor e o outro o emissor.

Uma informação importante foi destacada na **Observação**: A resistência de “3” para “1” é menor que de “3” para “2”. Sendo o terminal “3” a base, a partir dessa informação podemos concluir que o terminal “1” é o emissor e o terminal “2” o coletor. Ficando a sequência: **Terminal 1: Emissor; Terminal 2: Coletor e Terminal 3: Base**. O transistor é **NPN**.

2) Supondo-se que o terminal “2” é a base, verifica-se que:

Etapa	Terminal			
	1	2	3	
A				Resistência Baixa Valor = 470 Ω
B				Resistência Baixa Valor = 430 Ω
C				Resistência Alta
D				Resistência Alta
E				Resistência Alta
F				Resistência Alta

**Análise com a base positiva (ponteira vermelha inserida na base) – Etapas A e B.**

- De “2” para “3” a resistência é baixa;
- De “2” para “1” a resistência é baixa;

**Análise com a base positiva (inverte a posição da ponteira e coloca a ponteira preta na suposta base) – Etapas C e D.**

- De “2” para “3” a resistência é alta;
- De “2” para “1” a resistência é alta;

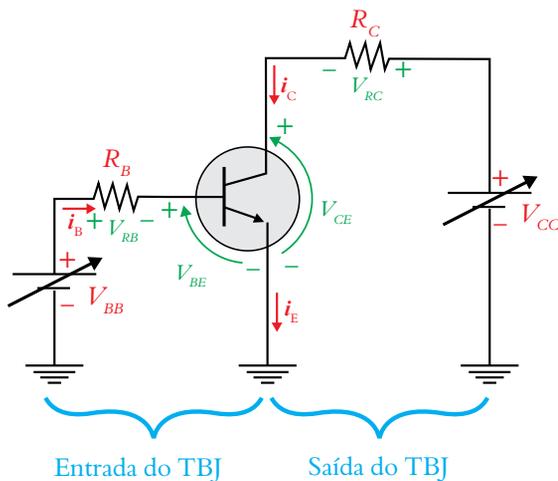
**Conclui-se a partir das etapas A, B, C, e D que realmente o terminal “2” é a base.**

As etapas E e F apresentam resistências elevadas para os terminais “1” e “3”, inclusive com a inversão da ponteira do multímetro. Isso sugere que esses dois terminais são o coletor e o emissor. Entretanto, ainda não sabemos qual deles é emissor e qual é o coletor. Vale lembrar que a base já foi identificada como sendo o terminal “2”.

Sabe-se que a resistência da junção base-emissor deverá ser menor que a resistência da junção coletor-base. As etapas onde isso ocorre são A e B. Sabendo-se que o terminal “2” é a base, identifica-se o terminal “1” com sendo o emissor e o terminal “3” o coletor.

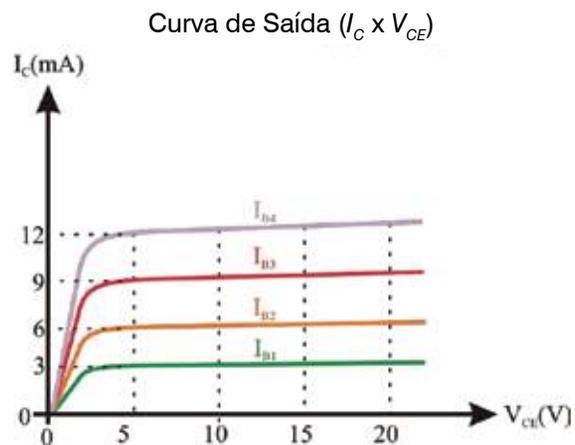
**Portanto, o transistor é NPN com: Terminal 1: Emissor; Terminal 2: Base; Terminal 3: Coletor.**

3)



$V_{CE}$ (V)	$I_B$ ( $\mu$ A)	$I_C$ (mA)
5	20	3
10		
15		
20		
5	40	6
10		
15		
20		
5	60	9
10		
15		
20		
5	80	12
10		
15		
20		

Para encontrar as correntes de coletor, assumindo que as correntes de base e o ganho beta ( $\beta$ ) sejam conhecidos, basta multiplicar a corrente base pelo ganho beta ( $\beta$ ). Assim, é possível preencher a terceira coluna ao lado. Com os dados de tensão  $V_{CE}$ , corrente  $I_C$  e corrente  $I_B$ , pode-se desenhar curva de saída do transistor, conforme figura a seguir.



4) Para o transistor da figura 9.54(a) os pontos de corte e saturação são definidos da forma:

Ponto de Corte:

$$V_{CE} = V_{CC} \Rightarrow V_{CE} = 10V$$

Ponto de Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow I_C = \frac{10}{1000} \Rightarrow I_C = 10 \text{ mA}$$

Para o transistor da figura 9.54(b) os pontos de corte e saturação são definidos da forma:

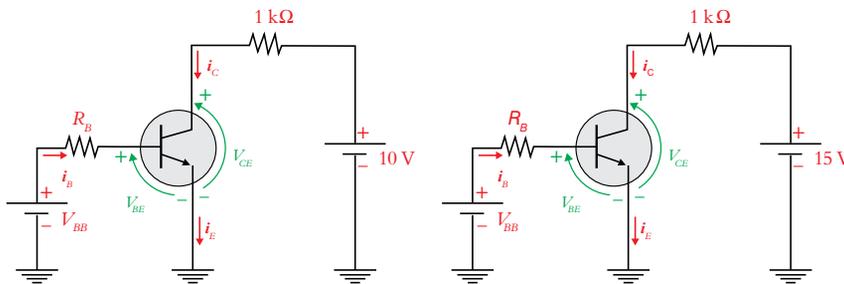
Ponto de Corte:

$$V_{CE} = V_{CC} \Rightarrow V_{CE} = 15 \text{ V}$$

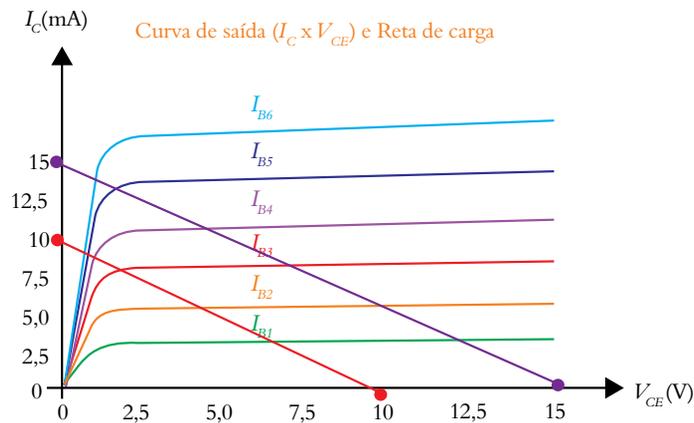
Ponto de Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow I_C = \frac{15}{1000} \Rightarrow I_C = 15 \text{ mA}$$

De posse dos pontos de corte e saturação para os dois circuitos e conhecida a família de curvas do transistor, podemos desenhar as duas retas de carga (sobre a família de curvas), conforme mostrado.



Circuitos usados para obtenção de curvas de saída ( $I_C$  versus  $V_{CE}$ ) do transistor.



- 5) Para o transistor da figura 9.56(a) os pontos de corte e saturação são definidos da forma:

Ponto de Corte:

$$V_{CE} = V_{CC} \Rightarrow V_{CE} = 15 \text{ V}$$

Ponto de Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow I_C = \frac{15}{1000} \Rightarrow I_C = 15 \text{ mA}$$

Para o transistor da figura 9.56(b) os pontos de corte e saturação são definidos da forma:

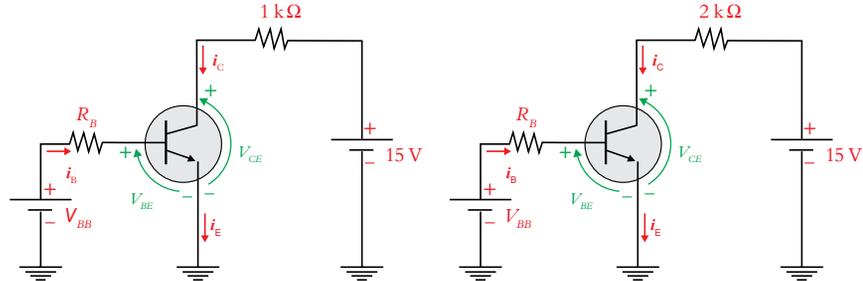
Ponto de Corte:

$$V_{CE} = V_{CC} \Rightarrow V_{CE} = 15 \text{ V}$$

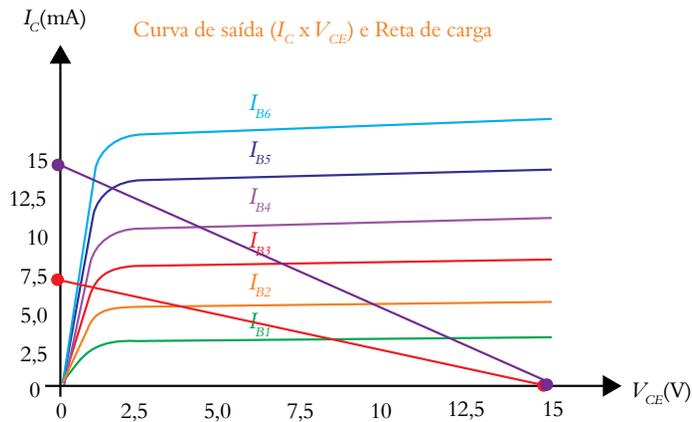
Ponto de Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow I_C = \frac{15}{2\,000} \Rightarrow I_C = 7,5 \text{ mA}$$

De posse dos pontos de corte e saturação para os dois circuitos e conhecida as famílias de curvas do transistor, podemos traçar as duas retas de carga (sobre a família de curvas), conforme mostrada a seguir.



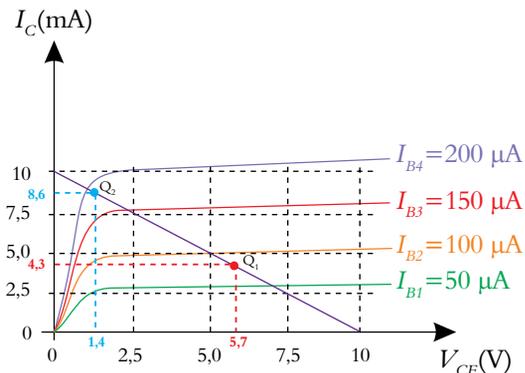
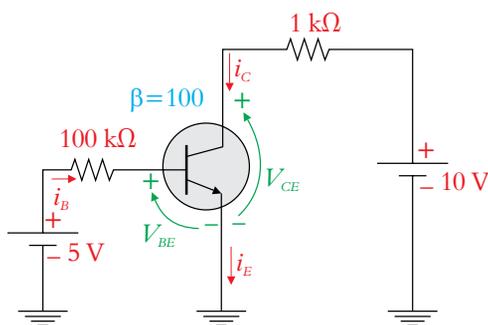
Circuitos usados para obtenção de curvas de saída ( $I_c$  versus  $V_{CE}$ ) do transistor



## Capítulo 10

### Respostas – página 267

- 1) A partir desse exercício, observa-se que a corrente de base não varia. Entretanto, a corrente de coletor varia substancialmente em função do ganho beta. Para ganhos variando entre 100 e 200 a corrente de coletor saltou de 4,3 mA para 8,6 mA, ou seja, houve um aumento de 100% no valor. Essa mudança na corrente de coletor resultou numa variação do ponto Q, tornando o ponto de operação instável. Esse fator mostra a sensibilidade do circuito com as variações no ganho do TBJ.



Montagem da Reta de Carga:

Ponto de Corte:

$$V_{CE} = V_{CC} = 10V$$

Ponto de Saturação:

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{10}{1\,000} \Rightarrow I_C = 10\text{ mA}$$

Encontrar o Ponto Quiescente ( $Q_1$ ) para  $\beta = 100$

$$I_B = \frac{5 - 0,7}{100 \times 10^3} \Rightarrow I_B = 43\ \mu\text{A}; I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 43 \times 10^{-6} \Rightarrow I_C = 4,3\text{ mA}$$

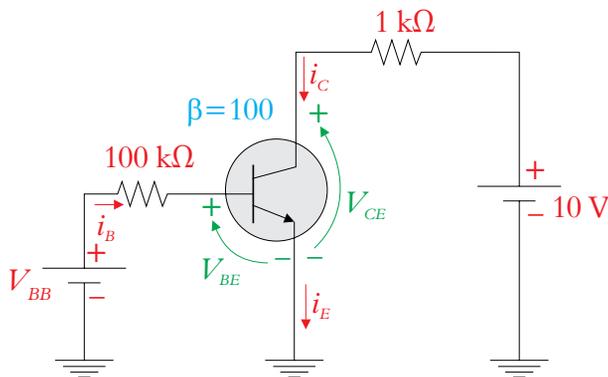
$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - (1000 \cdot 4,3 \times 10^{-3}) \Rightarrow V_{CE} = 5,7V$$

Encontrar o Ponto Quiescente ( $Q_1$ ) para  $\beta = 200$  A corrente  $I_B$  não muda, pois, não há influência do ganho na corrente de base.

$$I_C = \beta \cdot I_B = 200 \cdot 43 \times 10^{-6} \Rightarrow I_C = 8,6\text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C = 10 - (1\,000 \cdot 8,6 \times 10^{-3}) \Rightarrow V_{CE} = 1,4V$$

2)



Aplicando L.T.K na malha de entrada do TBJ, tem-se:

$$V_{BB} - V_{RB} - V_{BE} = 0\text{ V}$$

Onde:

$$V_{BE} = 0,7\text{ V}; V_{RB} = R_B i_B \text{ e } i_B = 50\ \mu\text{A}$$

Portanto:

$$V_{BB} - (100 \times 10^3 \cdot 50 \times 10^{-6}) - 0,7 = 0 \Rightarrow V_{BB} = 5\text{ V}$$

Cálculo da corrente de coletor ( $i_C$ )

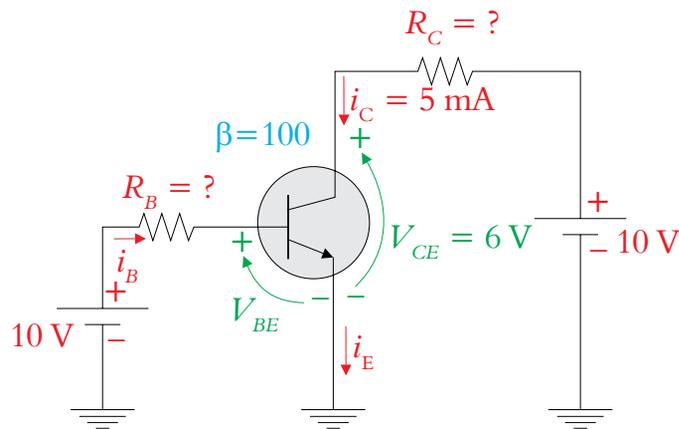
$$i_C = \beta \cdot i_B \Rightarrow i_C = 100 \cdot 50 \times 10^{-6} \Rightarrow i_C = 5\text{ mA}$$

Cálculo da tensão de coletor para emissor ( $V_{CE}$ )

$$V_{CE} + R_C \cdot i_C - V_{CC} = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot i_C \Rightarrow V_{CE} = 10 - (1 \times 10^3 \cdot 5 \times 10^{-3}) \Rightarrow$$

$$V_{CE} = 5V$$

3)



Dados:

$$V_{BB} = 10 \text{ V}$$

$$V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$\beta = 100$$

$$i_C = 5 \text{ mA}$$

Pela Lei de Ohm:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{i_C} \Rightarrow R_C = \frac{10 - 6}{5 \times 10^{-3}} \Rightarrow R_C = 800 \Omega$$

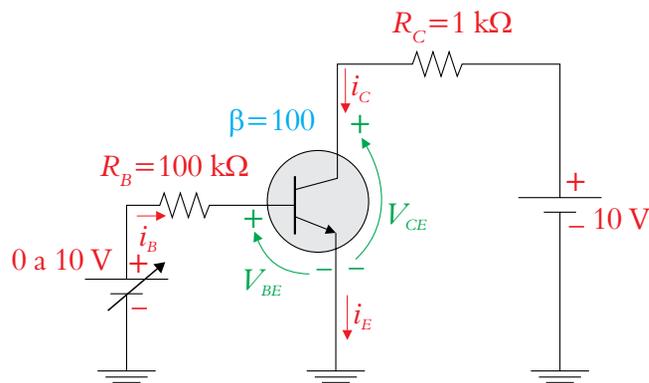
Obtenção da corrente de base:

$$i_C = \beta i_B \Rightarrow i_B = \frac{i_C}{\beta} \Rightarrow i_B = \frac{5 \times 10^{-3}}{100} \Rightarrow i_B = 50 \mu\text{A}$$

Pela Lei de Ohm:

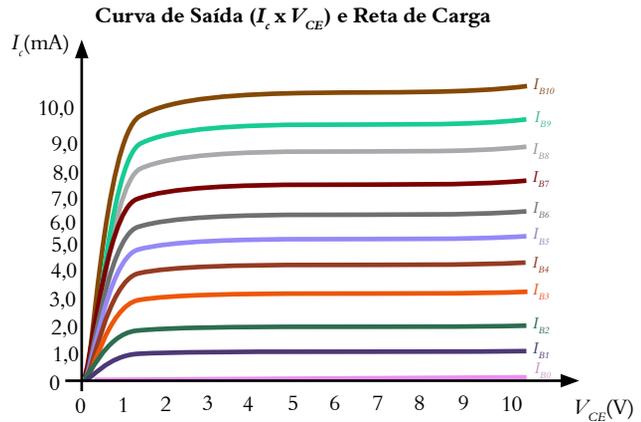
$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{i_B} \Rightarrow R_B = \frac{10 - 0,7}{50 \times 10^{-6}} \Rightarrow R_B = 186 \text{ k}\Omega$$

4)

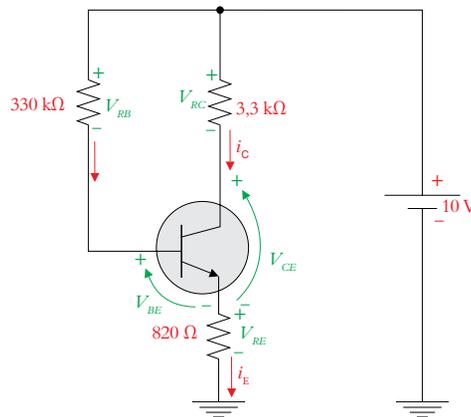


Para que possamos representar o conjunto de curvas desse transistor, na verdade, a tensão da base deve ser variada gradativamente, obtendo para cada valor de tensão aplicada à base, uma corrente de base e uma corrente de coletor, respectivamente. Para cada valor de corrente de base deve-se, posteriormente, aplicar vários valores de tensão de coletor, obtendo os respectivos  $V_{CE}$ . Deve-se ter em mente que a corrente de base não varia com a alteração da tensão de coletor para emissor ( $V_{CE}$ ). A figura a seguir representa o conjunto de curvas características para esse transistor bipolar de junção (TBJ).

$V_{BB}$ (V)	$I_B$ ( $\mu$ A)	$I_C$ (mA)	$V_{CE}$ (V)
0	0	0	10
1	10	1	9
2	20	2	8
3	30	3	7
4	40	4	6
5	50	5	5
6	60	6	4
7	70	7	3
8	80	8	2
9	90	9	1
10	100	10	0



5)



Dados:

$$V_{CC} = 10 \text{ V}$$

$$\beta = 100$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

**d. e e.** Cálculo das correntes de coletor e emissor:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta}\right)} \Rightarrow I_E = \frac{10 - 0,7}{820 + \left(\frac{333 \times 10^3}{100}\right)} \Rightarrow \boxed{I_C = I_E = 2,25 \text{ mA}}$$

**f.** Cálculo da corrente de base:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta R_E} \Rightarrow I_B = \frac{10 - 0,7}{330 \times 10^3 + (100 \times 820)} \Rightarrow \boxed{I_B = 22,57 \mu\text{A}}$$

**a., b. e c.** Cálculo da tensão  $V_{RB}$ ,  $V_{RC}$  e  $V_{RE}$ :

Pela Lei de Ohm:

$$V_{RB} = R_B I_B = 330 \times 10^3 \cdot 22,57 \times 10^{-6} \text{ A} \Rightarrow \boxed{V_{RB} = 7,45 \text{ V}}$$

$$V_{RC} = R_C I_C = 3,3 \times 10^3 \cdot 2,25 \times 10^{-3} \text{ A} \Rightarrow \boxed{V_{RC} = 7,42 \text{ V}}$$

$$V_{RE} = R_E I_E = 820 \cdot 2,25 \times 10^{-3} \text{ A} \Rightarrow \boxed{V_{RE} = 1,845 \text{ V}}$$

6) Dados:

$$V_{CC} = 20 \text{ V}$$

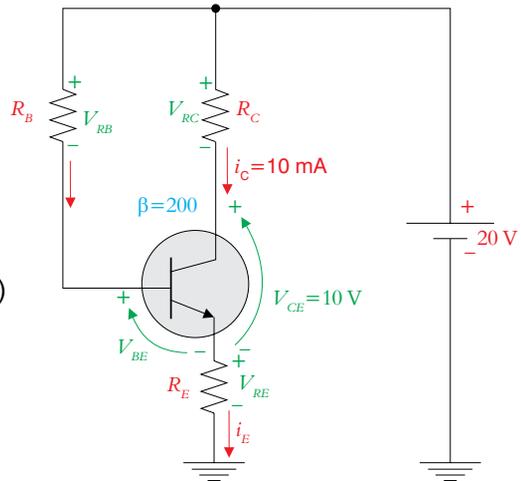
$$\beta = 200$$

$$V_{BE} = 0,7 \text{ V}$$

$$i_{CQ} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = \frac{20}{2} \Rightarrow V_{CEQ} = 10 \text{ V (Centro da curva do TJB)}$$

$$V_{RE} = 10\% V_{CC} \Rightarrow V_{RE} = 20 \times \left(\frac{10}{100}\right) \Rightarrow V_{RE} = 2 \text{ V}$$



Pela malha de saída do TBJ:

$$V_{RE} + V_{CE} + R_C I_C - V_{CC} = 0 \Rightarrow \left(\frac{V_{CC}}{10}\right) + V_{CE} + R_C I_C - V_{CC} = 0 \Rightarrow$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - \left(\frac{V_{CC}}{10}\right)}{I_C} \Rightarrow R_C = \frac{20 - 10 - \left(\frac{20}{10}\right)}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R_C = 800 \Omega}$$

Pela malha de entrada do TBJ:

$$V_{CC} - R_B I_B - V_{BE} - V_{RE} = 0 \Rightarrow$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - \left(\frac{V_{CC}}{10}\right)}{I_B} \Rightarrow I_B = \left(\frac{I_C}{\beta}\right) \Rightarrow I_B = \left(\frac{10 \times 10^{-3}}{200}\right) \Rightarrow I_B = 50 \mu\text{A}$$

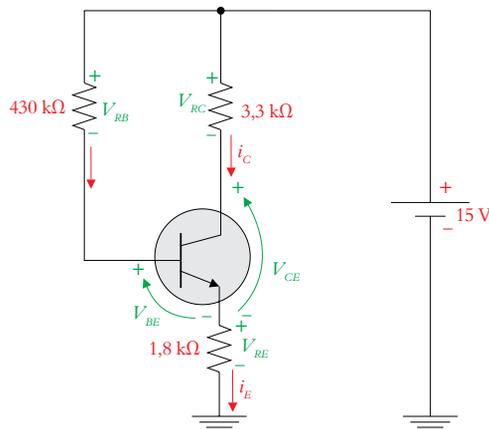
$$R_B = \frac{20 - 0,7 - \left(\frac{20}{10}\right)}{50 \times 10^{-6}} \Rightarrow \boxed{R_B = 346 \text{ k}\Omega}$$

Cálculo de  $R_E$ :

Assumindo que  $I_E \cong I_C = 10 \text{ mA}$

$$V_{RE} = R_E I_E \Rightarrow R_E = \left(\frac{V_{RE}}{I_E}\right) \Rightarrow R_E = \left(\frac{2}{10 \times 10^{-3}}\right) \Rightarrow \boxed{R_E = 200 \Omega}$$

7) Primeiramente, temos que encontrar as correntes de coletor e emissor e a tensão  $V_{CE}$  para  $\beta=50$ . Posteriormente, essas mesmas grandezas serão obtidas para  $\beta=100$ .



Para  $\beta = 50$ , temos:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta}\right)} \Rightarrow I_C \cong I_E = \frac{15 - 0,7}{1,8 \times 10^3 + \left(\frac{430 \times 10^3}{50}\right)} \Rightarrow \boxed{I_C \cong I_E = 1,375 \text{ mA}}$$

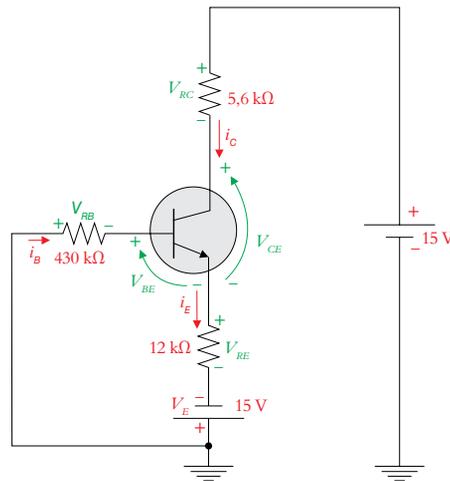
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 15 - 1,375 \times 10^{-3}(3\,300 + 1\,800) \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 7,99 \text{ V}}$$

Para  $\beta = 100$ , temos:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta}\right)} \Rightarrow I_C \cong I_E = \frac{15 - 0,7}{1,8 \times 10^3 + \left(\frac{430 \times 10^3}{100}\right)} \Rightarrow \boxed{I_C \cong I_E = 2,34 \text{ mA}}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 15 - 2,34 \times 10^{-3}(3\,300 + 1\,800) \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 3,04 \text{ V}}$$

8)



Para  $\beta = 50$ , temos:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta}\right)} \Rightarrow I_C \cong I_E = \frac{15 - 0,7}{12 \times 10^3 + \left(\frac{430 \times 10^3}{50}\right)} \Rightarrow \boxed{I_C \cong I_E = 0,7 \text{ mA}}$$

$$V_{CE} = V_E + V_{CC} - [I_C(R_C + R_E)] \Rightarrow V_{CE} = 15 + 15 - [0,7 \times 10^{-3}(5\,600 + 12\,000)] \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 17,68 \text{ V}}$$

Cálculo de  $V_{RB}$ ,  $V_{RC}$  e  $V_{RE}$ :

$$V_{RB} = R_B I_B \Rightarrow V_{RB} = R_B \left(\frac{i_C}{\beta}\right) \Rightarrow V_{RB} = 430 \times 10^3 \left(\frac{0,7 \times 10^{-3}}{50}\right) \Rightarrow \boxed{V_{RB} = 6 \text{ V}}$$

$$V_{RC} = R_C I_C = 5,6 \times 10^3 \cdot 0,7 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{RC} = 3,92 \text{ V}}$$

$$V_{RE} = R_E I_E = 12 \times 10^3 \cdot 0,7 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{RE} = 8,4 \text{ V}}$$

Para  $\beta = 100$ , temos:

$$I_C \cong I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_E + \left(\frac{R_B}{\beta}\right)} \Rightarrow I_C \cong I_E = \frac{15 - 0,7}{12 \times 10^3 + \left(\frac{430 \times 10^3}{50}\right)} \Rightarrow \boxed{I_C \cong I_E = 0,88 \text{ mA}}$$

$$V_{CE} = V_E + V_{CC} - [I_C(R_C + R_E)] \Rightarrow V_{CE} = 15 + 15 - [0,88 \times 10^{-3}(5\,600 + 12\,000)] \Rightarrow$$

$$\boxed{V_{CE} = 14,51 \text{ V}}$$

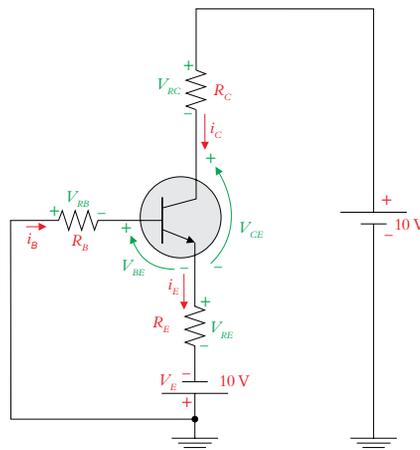
Cálculo da  $V_{RB}$ ,  $V_{RC}$  e  $V_{RE}$ :

$$V_{RB} = R_B I_B \Rightarrow V_{RB} = R_B \left(\frac{i_C}{\beta}\right) \Rightarrow V_{RB} = 430 \times 10^3 \left(\frac{0,88 \times 10^{-3}}{100}\right) \Rightarrow \boxed{V_{RB} = 3,78 \text{ V}}$$

$$V_{RC} = R_C I_C = 5,6 \times 10^3 \cdot 0,88 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{RC} = 4,93 \text{ V}}$$

$$V_{RE} = R_E I_E = 12 \times 10^3 \cdot 0,88 \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{V_{RE} = 10,56 \text{ V}}$$

9)



O primeiro passo na implementação desse projeto é encontrar um dos pontos da reta de carga. Isso porque foi informado que o ponto “Q” deverá estar exatamente no centro da reta de carga.

**Ponto de Corte:** O ponto de corte é obtido fazendo a corrente de coletor igual a zero. Assim, a expressão fica da forma:

$$V_{CE} = V_E + V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 10 + 10 \Rightarrow \boxed{V_{CE} = 20 \text{ V}}$$

Como informado no exemplo, devemos operar no centro da reta de carga, assim:

$$V_{CEQ} = \left(\frac{V_{CE}}{2}\right) = \left(\frac{20}{2}\right) \Rightarrow \boxed{V_{CEQ} = 10 \text{ V}}$$

O enunciado do exemplo informa que a corrente no ponto de operação “Q” deverá ser  $I_{CQ} = 5 \text{ mA}$ . Como esse parâmetro já foi informado, não há necessidade de fazer os cálculos para o ponto de saturação. Geralmente, é adotado um valor de tensão negativa no emissor do TBJ e, tradicionalmente esse valor é 10% da tensão da fonte contínua, sendo aqui  $-1 \text{ V}$ . Portanto:

$$-1 - V_{RE} + 10 = 0 \Rightarrow V_{RE} = 10 - 1 \Rightarrow V_{RE} = R_E I_E = 9 \text{ V}$$

Cálculo das resistências:

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_E - V_{CEQ} - R_E I_E}{I_{CQ}}$$

e

$$R_B = \frac{V_E - V_{BEQ} - R_E I_E}{I_{BQ}}$$

$$R_C = \frac{10 + 10 - 10 - 9}{5 \times 10^{-3}} = 200 \Omega$$

e

$$R_B = \frac{10 - 0,7 - 9}{\left(5 \times 10^{-3} / 50\right)} = 3 \text{ k}\Omega$$

Sabe-se que a tensão  $V_{RE} = R_E I_E = 9 \text{ V}$ . A partir dessa informação e, assumindo que a corrente de emissor é praticamente igual à corrente de coletor ( $I_E \cong I_C$ ), podemos calcular a resistência de emissor, da forma:

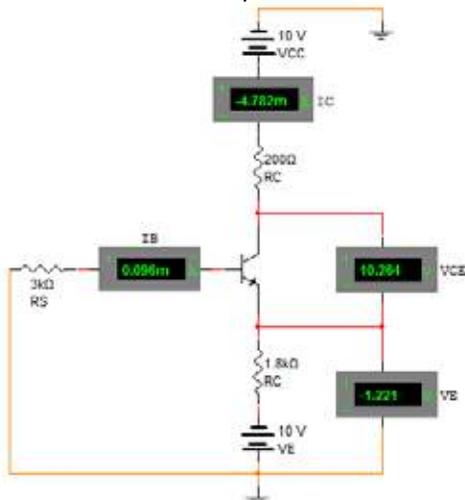
$$R_E = \frac{9}{5 \times 10^{-3}} = 1,8 \text{ k}\Omega$$

### Conclusões finais e discussões sobre o exercício nº 9

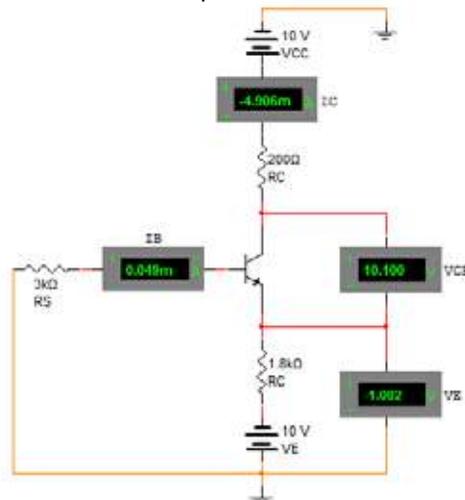
Os dados de projeto estabelecem um valor de  $V_{CEQ}$  igual a 10 V e  $I_{CQ}$  igual a 5 mA. A figura da esquerda são os resultados obtidos para o ganho de corrente  $\beta = 50$ . A partir dos amperímetros e voltmímetro no circuito, observamos que a corrente de coletor, indicada pelo amperímetro, é de 4,782 mA; Valor praticamente idêntico àquele fornecido no enunciado, que é de 5 mA. A tensão  $V_{CE}$  mostrada no voltmímetro é de 10,264 V, que também está bem próxima pelo indicado no projeto, que é de 10 V. A figura à direita mostra os resultados após a alteração do ganho para 100. Novamente, percebe-se que a alteração no ganho de corrente não influencia tanto na corrente  $I_C$  e nem na tensão  $V_{CE}$ . Comparando os resultados mostrados pelos dois circuitos, podemos concluir que:

- A corrente de coletor, passou de 4,782 mA quando o ganho de corrente vale  $\beta = 50$ , para 4,906 mA quando  $\beta = 100$ . Em termos percentuais, isso acarreta numa alteração de 2,5%;
- A tensão  $V_{CE}$  quando  $\beta = 50$  é de 10,264 V. Passando a ser 10,100 V quando  $\beta = 100$ . Isso equivale a uma variação de apenas 1,6%;
- A conclusão final é que o ponto quiescente permanece praticamente estável.

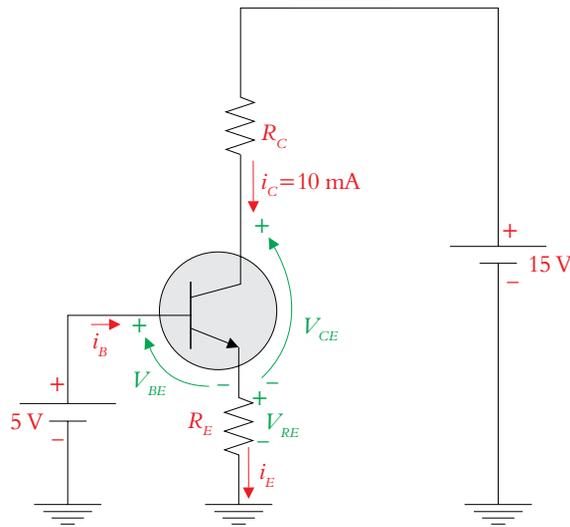
Resultados para Beta = 50



Resultados para Beta = 100



10)



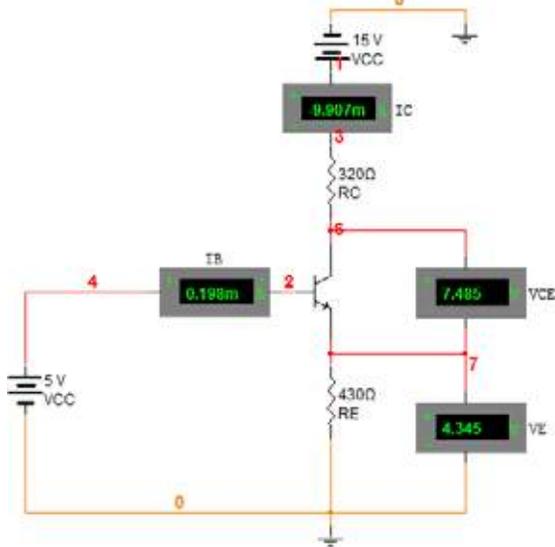
Para operar no centro da reta de carga, no corte a tensão  $V_{CE} = V_{CC}/2$ . Portanto:  $V_{CE} = 15/2 = 7,5$  V. A corrente de coletor nesse ponto deverá ser de  $I_{CQ} = 10$  mA. De posse desses dados, as resistências de coletor e emissor são calculadas da forma:

$$R_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_C} \Rightarrow R_E = \frac{5 - 0,7}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R_E = 430 \Omega}$$

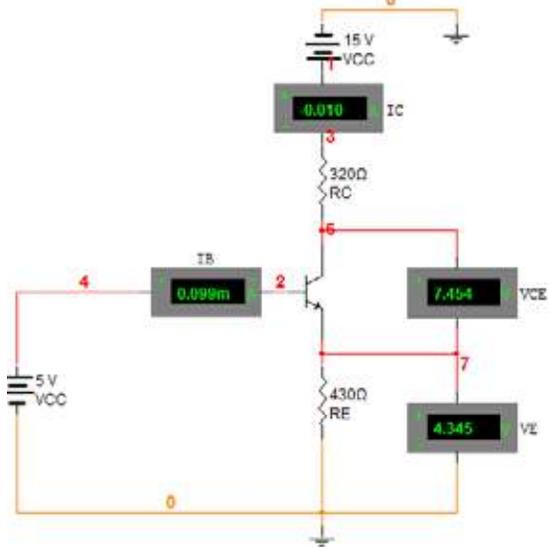
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} - R_E \Rightarrow R_C = \frac{15 - 7,5}{10 \times 10^{-3}} - 430 \Rightarrow \boxed{R_C = 320 \Omega}$$

A seguir, são mostrados os resultados para ganho de corrente igual a 50 (à esquerda) e para ganho igual a 100 (à direita). Os dados de projeto para a corrente de coletor no ponto quiescente ( $I_{CQ}$ ) é de 10 mA e para a tensão coletor-emissor  $V_{CE}$  é de 7,5 V. Obteve-se no MultiSim uma corrente de coletor vale 9,907 mA e a tensão  $V_{CE}$  vale 7,485 V. Esses valores estão bem próximos às exigências de projeto e são satisfatórios. Após dobrar o ganho, a corrente de coletor praticamente não alterou e seu valor é:  $I_C = 10$  mA. O mesmo acontece com a tensão  $V_{CE}$  que passou a ser de 7,454 V. A primeira pergunta que nos vem à mente é: Como pode não haver alterações na corrente de coletor e tensão de coletor emissor com o ganho beta sendo multiplicado por dois (2)? Inicialmente pensamos que um aumento no ganho reflete diretamente num acréscimo da corrente de coletor e de emissor, visto que  $I_C = \beta I_B$ . A resposta para isso é: Se a corrente de emissor aumenta, pela Lei de Ohm é fácil concluirmos que haverá também um aumento na queda de tensão no resistor de emissor ( $V_{RE} = R_E I_E$ ). Esse aumento da tensão  $V_{RE}$  fará com que a corrente de base diminua, fazendo  $I_C$  diminuir também, compensando o aumento inicial. Se compararmos as correntes de base nos dois circuitos, constatamos que realmente isso acontece. Quando  $\beta = 50$ , a corrente de base  $I_B = 198 \mu\text{A}$ . Após a fixação de um novo valor de beta ( $\beta = 100$ ) a corrente de base diminui para compensar e manter o ponto de operação estável. Esse processo é chamado de estabilização por corrente de realimentação.

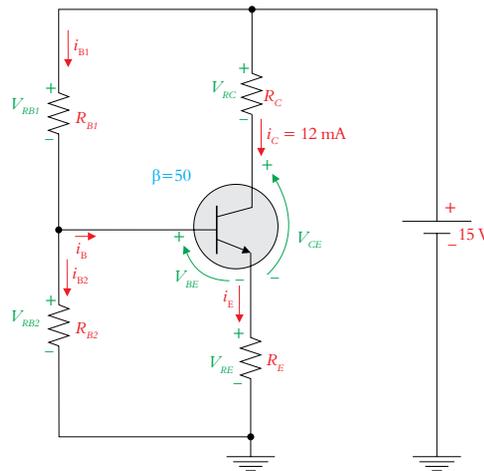
Resultados para Beta = 50



Resultados para Beta = 100



11)



Para operar no centro da reta de carga sabemos que no corte a tensão  $V_{CE} = V_{CC}/2$ . Portanto:  $V_{CE} = 15/2 = 7,5$  V. Temos também a informação que a corrente de coletor nesse ponto deverá ser de  $I_{CQ} = 12$  mA e que o ganho do transistor é 50. De posse desses dados, podemos calcular o valor das resistências de coletor e emissor.

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E} = \frac{0,1 \times V_{CC}}{I_E} = \frac{0,1 \times 15}{12 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R_E = 125 \Omega}$$

Considerando-se que  $i_{B1} = i_{B2}$  e ainda que seus valores são 10% de  $I_C$ , podemos calcular as resistências  $R_{B1}$  e  $R_{B2}$ . Nesse exemplo, vamos supor que:

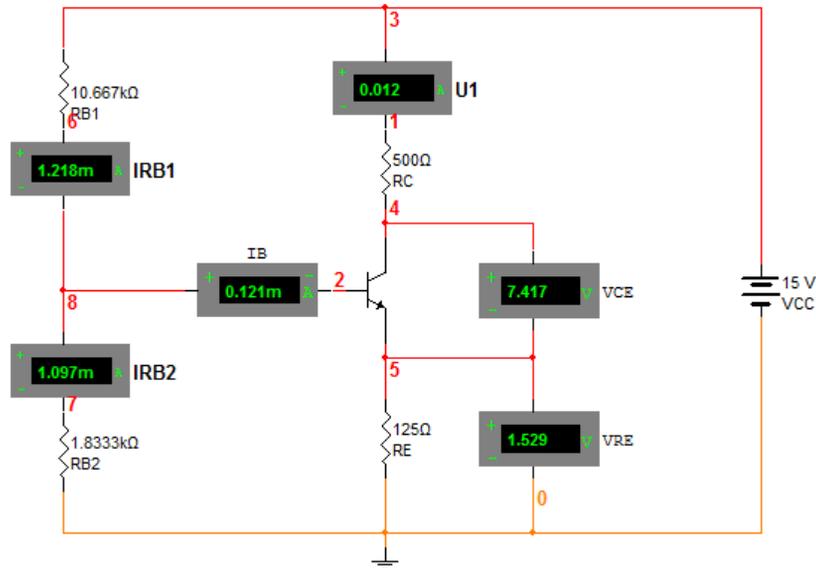
$$i_{B1} = 0,1 \times 12 \times 10^{-3} \Rightarrow i_{B1} = i_{B2} = 1,2 \times 10^{-3} \text{ A e } V_{RE} = R_E I_E = 125 \times 12 \times 10^{-3} \Rightarrow V_{RE} = 1,5 \text{ V}$$

$$R_{B2} = \frac{V_{BE} + V_{RE}}{i_{B2}} \Rightarrow R_{B2} = \frac{0,7 + 1,5}{0,1 \times 12 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R_{B2} = 1833 \Omega}$$

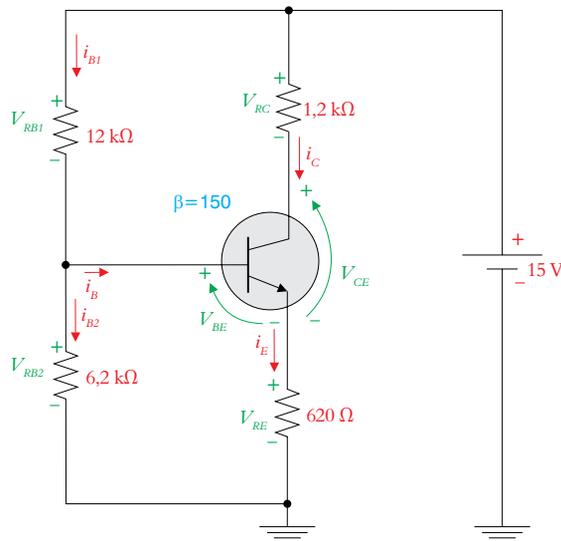
$$R_{B1} = \frac{V_{CC}}{i_{B1}} - R_{B2} \Rightarrow R_{B1} = \frac{15}{0,1 \times 12 \times 10^{-3}} - 1833 \Rightarrow \boxed{R_{B1} = 10667 \Omega}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - 0,1 V_{CC}}{I_C} \Rightarrow R_C = \frac{15 - 7,5 - 0,1 \times 15}{12 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{R_C = 500 \Omega}$$

A seguir é mostrado um circuito implementado no MultiSim para verificar o valor das grandezas encontradas. Duas grandezas merecem destaque: a tensão  $V_{CE}$  e a corrente de coletor  $I_C$ . A tensão  $V_{CE}$  é de 7,417 V e está muito próximo à operação no centro da reta de carga, exigido no projeto, que é de 7,5 V. A corrente de coletor é idêntica a de emissor e o valor visualizado na simulação é de 12 mA, valor idêntico ao estipulado pelo enunciado. As correntes  $I_{RB1}$  e  $I_{RB2}$  são praticamente iguais e a tensão sobre o resistor de emissor  $V_{RE}$  é de 1,529 V. Na fase de cálculos dos valor da resistência de emissor  $R_E$ , supomos que a tensão sobre esse resistor estaria em torno de 10% da tensão de alimentação, que é de 15 V. Isso representa uma tensão de 1,5 V. Em termos percentuais, a diferença entre  $V_{RE}$  calculado e  $V_{RE}$  simulado é de apenas 2%.



12)



Como todos os valores de resistências já foram fornecidos, não podemos supor valores para as grandezas  $V_{RE}$  e nem  $i_{B1}$  e  $i_{B2}$ . Inicialmente podemos obter o valor da tensão de base  $V_B$  a partir da expressão (IX) e mostrada novamente abaixo.

$$V_{RB2} - V_{BE} - V_{RE} = 0 \Rightarrow V_{RE} = V_{RB2} - V_{BE}$$

Sabe-se ainda que  $V_{RB2} = V_B$

$$V_{RE} = 5,11 - 0,7 = 0 \Rightarrow V_{RE} = 4,41V$$

De posse de  $V_{RE}$ , podemos encontrar, a partir da Lei de Ohm, a corrente  $i_E$ , da forma:

$$i_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{4,41}{620} \Rightarrow 7,11 \text{ mA}$$

$$\text{Como } I_C = I_E \Rightarrow I_C = 7,11 \text{ mA}$$

Aplicando L.T.K. na malha de saída, a tensão entre coletor e emissor é obtida:

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C (R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 15 - 7,11 \times 10^{-3} (1\,200 + 620) \Rightarrow V_{CE} = 2,06 \text{ V}$$

Como o ganho  $\beta = 150$ , a corrente de base poderá ser obtida da forma:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} \Rightarrow i_B = \frac{7,11 \times 10^{-3}}{150} \Rightarrow i_B = 47,4 \mu\text{A}$$

e

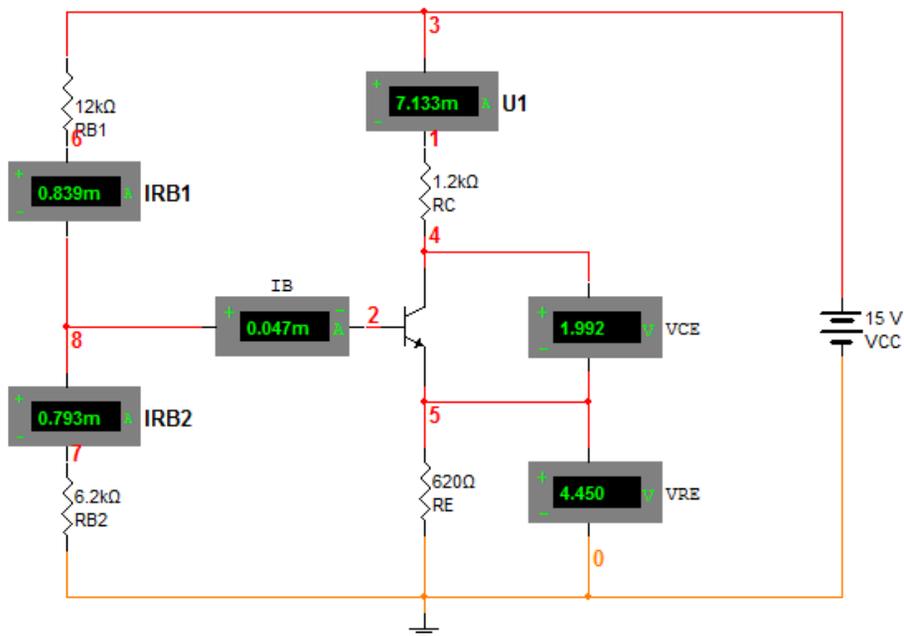
$$i_{B1} - i_{B2} - i_B = 0, \text{ onde:}$$

$$i_{B2} = \frac{V_B}{R_{B2}} \Rightarrow i_{B2} = \frac{5,11}{6200} \Rightarrow i_{B2} = 824,19 \mu\text{A}$$

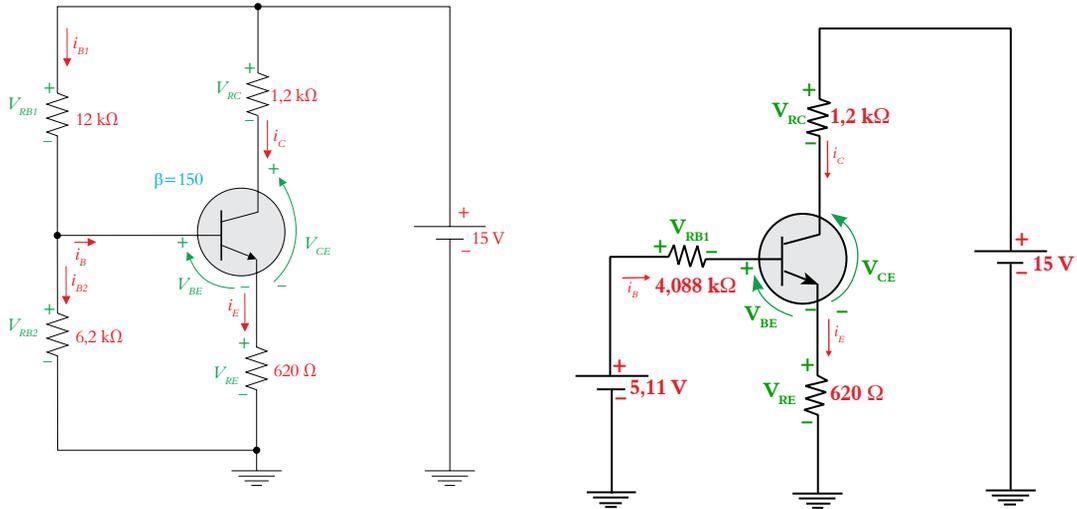
e

$$i_{B1} = i_{B2} + i_B \Rightarrow i_{B1} = 824,19 \times 10^{-6} + 47,4 \times 10^{-6} \Rightarrow i_{B1} = 871,59 \mu\text{A}$$

Os resultados obtidos na simulação estão mostrados a seguir. Todos estão bem próximos aos calculados. A corrente de base calculada é de  $47,4 \mu\text{A}$ . Já a obtida pela simulação é de  $47 \mu\text{A}$ . A corrente de coletor na simulação é de  $7,13 \text{ mA}$  e o valor calculado é de  $7,11 \text{ mA}$ . A tensão  $V_{CE}$  calculada é de  $2,06 \text{ V}$  e a simulada é de  $1,992 \text{ V}$ .



13)



O circuito da figura à esquerda é redesenhado conforme figura à direita e os cálculos dos valores de resistência  $R_{TH}$  e tensão  $V_{TH}$  são mostrados na sequência.

Cálculo da resistência de Thévenin ( $R_{TH}$ ):

$$R_{TH} = \frac{R_{B1} \times R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \Rightarrow R_{TH} = \frac{12\,000 \times 6\,200}{12\,000 + 6\,200} \Rightarrow R_{TH} \cong 4,088\text{ k}\Omega$$

Cálculo da Tensão de Thévenin ( $V_{TH}$ ):

$$V_{TH} = V_{CC} \left( \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \right) \Rightarrow V_{TH} = 15 \left( \frac{6\,200}{12\,000 + 6\,200} \right) \Rightarrow V_{TH} = 5,11\text{ V}$$

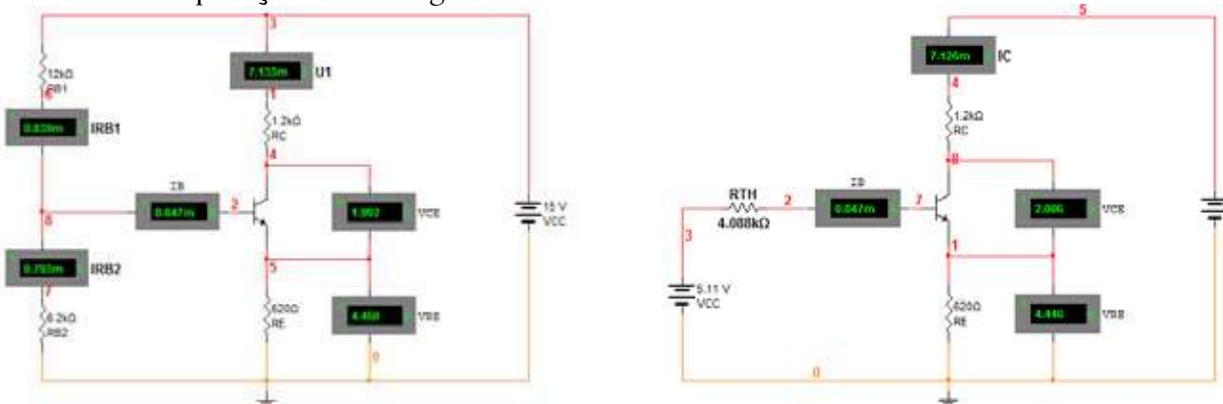
Cálculo da corrente de emissor  $i_E$ :

$$i_E = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_E + \left( \frac{R_{TH}}{\beta} \right)} \Rightarrow i_E = \frac{5,11 - 0,7}{620 + \left( \frac{4\,800}{150} \right)} \Rightarrow i_E = i_C = 6,81\text{ mA}$$

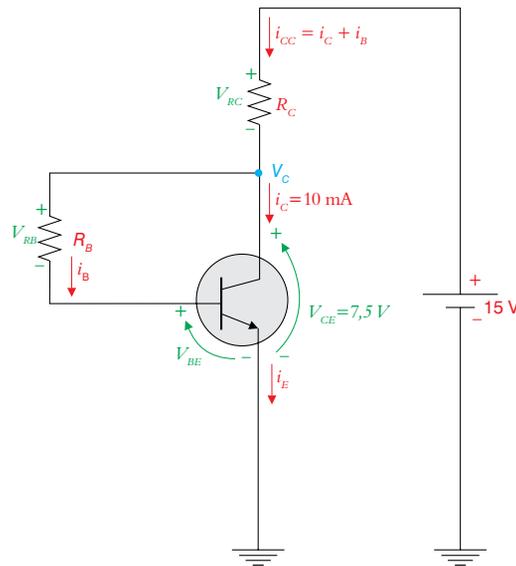
Cálculo de Tensão de coletor-emissor  $V_{CE}$ :

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C (R_C + R_E) \Rightarrow V_{CE} = 15 - 6,81 \times 10^{-3} (1\,200 + 620) \Rightarrow V_{CE} = 2,6\text{ V}$$

Os dois circuitos a seguir mostram o circuito original à esquerda e o circuito “transformado” à direita. Pelos resultados das grandezas apresentados, é possível perceber que após a transformação do circuito os resultados permanecem praticamente idênticos, viabilizando a aplicação da estratégia.



14)



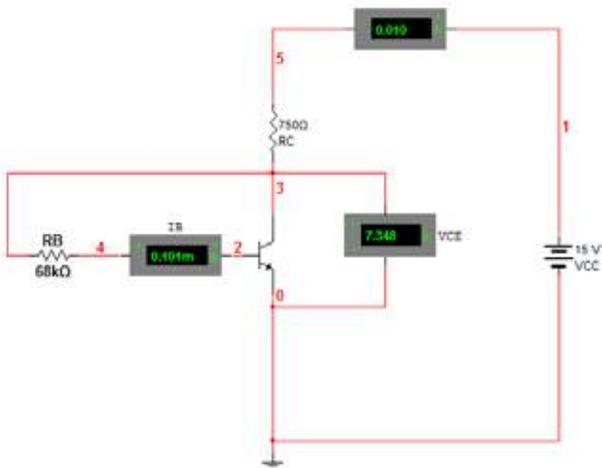
Cálculo de  $R_B$  e  $R_C$ , assumindo que  $\beta = 100$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{i_B} \Rightarrow R_B = \frac{7,5 - 0,7}{\left(\frac{10 \times 10^{-3}}{100}\right)} \Rightarrow R_B = 68 \text{ k}\Omega$$

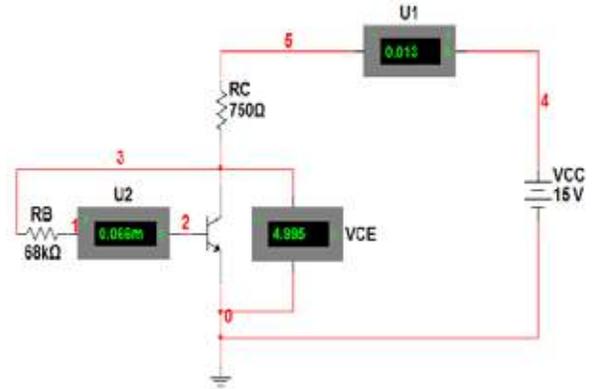
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{i_C} \Rightarrow R_C = \frac{15 - 7,5}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow R_C = 750 \Omega$$

Os resultados simulados para  $\beta=100$ ,  $\beta=200$  e  $\beta=50$  são mostrados a seguir. O valor das resistências calculadas foram alocados na simulação e os valores de  $V_{CE}$ ,  $i_B$  e  $i_C$  foram monitorados e mostrados. A tensão  $V_{CE}$  simulada é de 7,348. Valor bem próximo do requerido no projeto que é de 7,5 V (no centro da resta de carga). A corrente referente ao ponto de operação  $I_{CQ}$  exigida no projeto é de 10 mA. O valor simulado mostra essa grandeza com um valor em torno de 10 mA. Mais uma vez, os valores estão muito bons. Quando o ganho de corrente é alterado, verifica-se que o ponto quiescente varia, ou seja, não é mais estável como os mostrados nas configurações de circuitos mostradas anteriormente. Após dobrar o ganho de corrente, observa-se que as correntes de coletor e tensão entre coletor e emissor variam com o ganho e, conseqüentemente com a temperatura. A corrente de coletor que deveria estar em torno de 10 mA passou a valer 13 mA. Isso equivale a uma variação de 30%. Já a tensão  $V_{CE}$ , que deveria ser de 7,5 V apresenta um valor de 4,995 V. Uma variação percentual de aproximadamente 33%. Ao inserirmos um valor de  $\beta=50$ , mais uma vez os resultados são pouco satisfatórios. A corrente de coletor que deveria ser de 10 mA passou a valer 6,976 mA. A diferença entre os valores requerido e medido, na prática, equivale a 43%. A tensão  $V_{CE}$  que deveria ser de 7,5 V, na verdade, passou a ser 9,767 V quando o ganho passou a ser a metade (diferença de 23%).

Resultados para Beta = 100



Resultados para Beta = 200



Resultados para Beta = 50

