

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ALEXANDRO BERKEMBROCK

**ESTUDO DO USO DE TERMOPARES EM VIAS RODOVIÁRIAS COM
PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL PARA TERMOGERAÇÃO DE ENERGIA**

**CASCADEL - PR
2018**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

ALEXANDRO BERKEMBROCK

**ESTUDO DO USO DE TERMOPARES EM VIAS RODOVIÁRIAS COM
PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL PARA TERMOGERAÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

**Professor Orientador: Me. Eng. Agrícola
Maurício Medeiros**

**CASCADEL - PR
2018**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ
ALEXANDRO BERKEMBROCK**

**ESTUDO DO USO DE TERMOPARES EM VIAS RODOVIÁRIAS COM
PAVIMENTO ASFÁLTICO FLEXÍVEL PARA TERMOGERAÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Me. Eng. Agrícola Maurício Medeiros.

BANCA EXAMINADORA

Orientador (a) Prof^ª. **Me. Eng. Agrícola Maurício Medeiros**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Agrícola/Especialista em Segurança do Trabalho/ Mestre

Professor **Eng, Civil Ricardo Paganin**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Civil/Especialista

Professor (a) <**Titulação Rodrigo Techio Bressan**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Eng. Civil/Especialista

Cascavel, 12 de junho de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha e minha esposa, pelo amor infinito e compreensão, fontes de minha grande motivação.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pelo dom da vida, por ter permitido eu chegar até aqui e por estar ao meu lado durante os momentos de dificuldades encontrados ao longo dessa caminhada.

Aos meus pais, Ivoni e Auro, pelo apoio e carinho que prestaram desde o início da faculdade, com certeza sem esse apoio nada teria sido conquistado.

Em especial a minha Mãe, sempre batalhadora, e que sempre buscou entender o porquê de minhas decisões, sempre dando o maior apoio, muito obrigado.

Ao meu irmão, Ericks que assistiu minha caminhada em busca do conhecimento, estando sempre à disposição para ajudar.

Ao Professor Mestre Engenheiro Agrícola Maurício Medeiros, por acreditar nesse trabalho, pelas orientações, conversas e força durante a realização desta pesquisa.

A ECOCATARATAS e a sua equipe de engenharia, pela disponibilização do laboratório e pessoal para execução dos ensaios.

Ao laboratorista Sr. Davi Valentin Correia grande profissional e amigo, pelo apoio na execução dos ensaios que só enriqueceram este trabalho.

RESUMO

Este tema consiste em apresentar um estudo de geração alternativa de energia elétrica baseado no efeito *Seebeck* aplicado às vias pavimentadas com concreto asfáltico flexível, que propõe a análise dos efeitos termoelétricos, apresentando um modelo matemático para a geração de energia através deste efeito, fazendo-se uso da aplicação de termopares instalados dentro do corpo de prova de concreto asfáltico flexível, de acordo com as características construtivas das vias definidas pelo DNIT, onde será verificado o comportamento do asfalto quanto aos seus aspectos térmicos, com ênfase na difusividade térmica e sob forma de ensaios laboratoriais com um corpo de prova sobre o qual recebeu uma carga térmica de modo a verificar os valores de tensão e potência geradas, e assim apresentar o material com a melhor característica para ser aproveitado como fonte alternativa de energia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Anel de <i>Seebeck</i> com o desvio de uma agulha magnética após aquecimento de uma das junções de dois materiais diferentes.....	18
Figura 2 - Esquema básico de um termopar.....	19
Figura 3 - Coeficientes de <i>Seebeck</i> para metais e ligas (esquerda) e semicondutores (direita).....	20
Figura 4 - Deslocação elétrons de uma fonte quente para uma fonte fria.....	21
Figura 5 - Efeito de <i>Peltier</i> numa junção, com inversão do sentido da corrente elétrica.....	22
Figura 6: Termopares: (Ferro + Alumínio), (Cobre + Alumínio) e (Cobre + Ferro).....	26
Figura 7 - Termo-higrômetro, marca Kiltler, modelo KT 908.....	28
Figura 8 - Termômetro infravermelho Solotest modelo Soloterm 1200.....	29
Figura 9 – Soprador Térmico	30
Figura 10 – Multímetro.....	31
Figura 11 - Materiais utilizados	31
Figura 12 - Montagem do corpo de prova	33
Figura 13 - Montagem do corpo de prova	33
Figura 14 - Compactação do corpo de prova.....	34
Figura 15 - Corpo de prova moldado.....	34
Figura 16 - Leituras do corpo de prova.....	36
Figura 17 - Leituras do corpo de prova.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado das leituras do ensaio de termogeração.....	27
Tabela 2: Especificações técnicas do Termo-higrômetro.....	28
Tabela 3: Especificações técnicas do termômetro.....	29
Tabela 4: Resultado das leituras do ensaio de termogeração.....	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 120

Equação 222

Equação 323

Equação 424

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas

MME - Ministério de Minas e Energia

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	12
1.1 INTRODUÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 Objetivo geral.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	14
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE.....	14
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	14
CAPÍTULO 2.....	16
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1.1 Noções básicas e estado da arte.....	16
2.1.2 História da evolução da Termoeletricidade.....	17
2.1.3 Efeito de <i>Seebeck</i>	19
2.1.4 Efeito de <i>Peltier</i>	22
2.1.5 Efeito de Thomson.....	23
CAPÍTULO 3.....	25
3.1 METODOLOGIA.....	25
3.1.1 Tipos de estudo e local da pesquisa.....	25
3.1.2 Caracterização da amostra do corpo de prova.....	25
3.1.3 Instrumento e procedimentos para coleta de dados.....	26
3.2 Caracterização da amostra	31
3.2.1 Caracterização dos agregados.....	32
3.3 Confeção do corpo de prova.....	33
CAPÍTULO 4.....	35
4.1 Resultados e discussões.....	35
4.2 Curva de temperatura.....	35
4.3 Dados obtidos.....	36
CAPÍTULO 5.....	39
5.1 Considerações finais.....	39
5.2 Sugestão pra trabalhos futuros.....	40
6 REFERÊNCIAS.....	41

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, constituídas sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (MEDINA E MOTTA, 2005).

O pavimento de um sistema rodoviário classifica-se em dois tipos principais: os rígidos e os flexíveis. Os pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações. Os pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes e rompimento por fadiga (MEDINA E MOTTA, 2005).

Esses pavimentos são destinados a receber a carga dos veículos, e mais diretamente a ação climática. Portanto, essas camadas, devem ser tanto quanto possíveis, impermeáveis e resistentes aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variadas, conforme carga e velocidade dos veículos. Na maioria dos pavimentos brasileiros, usa-se como revestimento, uma mistura de agregados minerais de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local (MEDINA E MOTTA, 2005).

Termoeletricidade é um conjunto de fenômenos físicos que relacionam a temperatura com as propriedades elétricas dos materiais. Esta relação permite a transformação direta de um gradiente de calor em eletricidade ou vice-versa. Nos materiais condutores podem observar-se vários efeitos termoelétricos, sendo de considerar apenas os mais importantes, que tomaram o nome dos seus inventores, *Seebeck*, *Thomson* e *Peltier* (PIEDEDE, 1997).

O efeito de *Seebeck* tem particular interesse na construção de termopares que, de fato, são conversores termoelétricos de energia térmica em energia elétrica. Também este efeito e o princípio que é utilizado nos denominados geradores termoelétricos. Os efeitos de Thomson e de *Peltier* são usados na construção de dispositivos termoelétricos, utilizados para a conversão de energia elétrica em energia térmica, ou bombas de calor (sistemas reversíveis, que são capazes de transportar calor de uma fonte térmica para outra, à custa de energia elétrica). Em todos os efeitos, há uma relação entre a temperatura e a eletricidade (PIEIDADE, 1997).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar a utilização de termopares para geração de energia, através da transformação do calor proveniente do sol em energia elétrica em vias rodoviárias, com pavimento asfáltico flexível.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar as propriedades do efeito *Seebeck* e a sua adequabilidade a um sistema de geração termoelétrico e instalando termopares na camada inferior do corpo de prova de um pavimento asfáltico flexível.
- Verificar a variação de temperatura e de tensão na camada interna do pavimento;
- Montar o sistema da melhor maneira para instalação dos sensores no pavimento flexível em uma amostra com 3 tipos de termopares.

1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil, o modal de transporte que prevalece é o rodoviário (RIBEIRO & FERREIRA, 2002) e, por isso, se pensou no aproveitamento desta malha rodoviária, onde recebe incidências de cargas e atritos geradas pelos veículos, e também a incidência dos raios solares sobre o pavimento, para a possibilidade da inserção do sistema termopar, junto à

camada inferior do pavimento, fazendo que, com as condições de calor ali existentes e absorvidas sejam transformadas em corrente elétrica.

Este estudo tem a razão que a utilização de um gerador termoelétrico com este tipo de dispositivos é inovador, no campo de aplicação rodoviário.

Considerando os fatores acima citados, a importância desse trabalho acadêmico, justifica-se, no fato de acrescentar material de pesquisa acerca do tema e um possível surgimento de uma nova fonte alternativa de energia.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível, através de condutores termopares, a geração de energia elétrica renovável e sustentável, em rodovias com pavimento flexível?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

A grande utilização da energia elétrica nos grandes centros é uma das características, que têm vindo, a fortalecer as buscas, por novos tipos de geração de energia, implementadas à dependência de hidrelétricas no Brasil. A utilização, mais eficiente do calor em malhas rodoviárias, é uma das principais fontes de atuação dos processos para obter se grande economia de energia hidrelétrica.

Torna-se assim, importante desenvolver um sistema proativo, eficiente em uma nova forma de geração de energia renovável e também sustentável, de modo simples e abundante, que é fornecido diretamente pelos raios solares, e o próprio tráfego de veículos de uma rodovia, utilizando equipamentos que transformam energia térmica em elétrica.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa deu-se, a ensaios laboratoriais sobre o material betuminoso, e tipos de sistema termopar a serem utilizados, os ensaios foram realizados na sede da concessionária de pedágio Rodovia das Cataratas - Ecocataratas localizado na BR-277 Km 581, S/N, Pavan na cidade de Cascavel, Paraná.

Conforme os dados obtidos, foi implantado o sistema, junto ao pavimento flexível, e analisado os dados obtidos através de um aparelho multímetro, com auxílio de uma estufa e um soprador térmico para se manter a amostra a uma temperatura média semelhante ao encontrado na situação real em uma rodovia no interior do Paraná no período do verão simulando o aquecimento gerado no pavimento pelo atrito do tráfego e a incidência dos raios solares equivalente as máximas possíveis.

Os metais em questão analisados foram 3 (três) cobre, ferro e alumínio ligados de diferentes formas:

- 1º (FERRO 6,3mm + COBRE 10mm);
- 2º (ALUMINIO 8mm + COBRE 10mm);
- 3º (ALUMINIO 8mm + FERRO 6,3mm).

As leituras de tensão e temperatura foram realizadas em 4 horas com período de 15 minutos entre elas.

CAPÍTULO 2

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo abordar-se-á o conceito da termoeletricidade, história detalhada da sua origem e de como a mesma ocorre.

2.1.1 Noções básicas e estado da arte

Pretende-se efetuar, uma abordagem aos conceitos teóricos relacionados com a termoeletricidade, com o seu desenvolvimento histórico e também incluindo, toda a informação considerada mais relevante nesta área, para uma compreensão mais fácil do desenvolvimento do projeto.

Deste modo, faz-se uma retrospectiva da evolução dos principais conceitos, ao longo do desenvolvimento desta teoria, termoeletricidade, e que sustentam as mais variadas aplicações, as quais representam a aplicação prática das inovações, que notabilizaram os pioneiros nestas descobertas. Vale salientar que o perfeito conhecimento destes conceitos, sustentam metodologias nem sempre de aplicação economicamente viáveis. A utilização dos dispositivos termoelétricos tem vindo a crescer, e a desenvolver-se com a pesquisa e introdução de novos materiais, novas técnicas, e aplicações diferentes daquelas que foram desenvolvidas, no decorrer do século passado. A velocidade dos avanços tecnológicos, e das mudanças nos cenários, implica uma continuidade das pesquisas realizadas. Pelo descrito, este apenas é, só um passo inicial, para a elaboração de um exercício, sem a intenção de ser conclusivo, em relação à temática.

Neste tema, deseja-se apresentar de forma abrangente, mas necessariamente sintética o estado do conhecimento, o nível mais elevado, a que chegou a técnica e aplicação do efeito de *Seebeck*, passando da fase de pesquisa e descoberta para a aplicação prática, consolidando informações dispersas, bem como documentar o que está a ser feito atualmente, num documento homogéneo e conciso. É possível verificar, que existe uma forte tendência mundial, em se dar uma prioridade elevada no desenvolvimento de tecnologias, que

contribuem para formas de geração de energia, alternativas aos habituais, de forma sustentada e conferindo uma maior preocupação ambiental.

O estado da arte, neste trabalho, contemplará uma análise crítica e reflexiva, integrando informações geradas por outros autores, devidamente referenciados, e ao mesmo tempo efetuar-se-á o relacionamento com a temática a ser estudada, integrando também, uma reflexão, como consequência da argumentação e conclusões sobre o tema em si. Integra este estado da arte, para além das aplicações dos geradores termoelétricos, uma focagem no nível de desenvolvimento dos geradores citados, dando assim, importância à utilização, ao conceito, às características, e ao desenvolvimento da geração de energia elétrica, a partir de uma fonte de calor, pelo efeito de *Seebeck*.

2.1.2 História da evolução da termoeletricidade

O conceito de termoeletricidade resulta da junção de duas palavras: “termo” que significa temperatura e “eletricidade” (do grego Elektro, “âmbar”) que é um termo geral que engloba uma grande variedade de fenômenos resultantes da presença e do fluxo da carga elétrica (PIEDADE, 1997).

A termoeletricidade tem a sua origem em Alessandro Volta (1800), físico italiano. Volta concluiu que a eletricidade causadora dos espasmos nas pernas de sapo, cujo estudo foi realizado por Luigi Galvani (1780), era devida a um contato entre dois metais diferentes. Essa conclusão foi à precursora do princípio da termoeletricidade (PIEDADE, 1997).

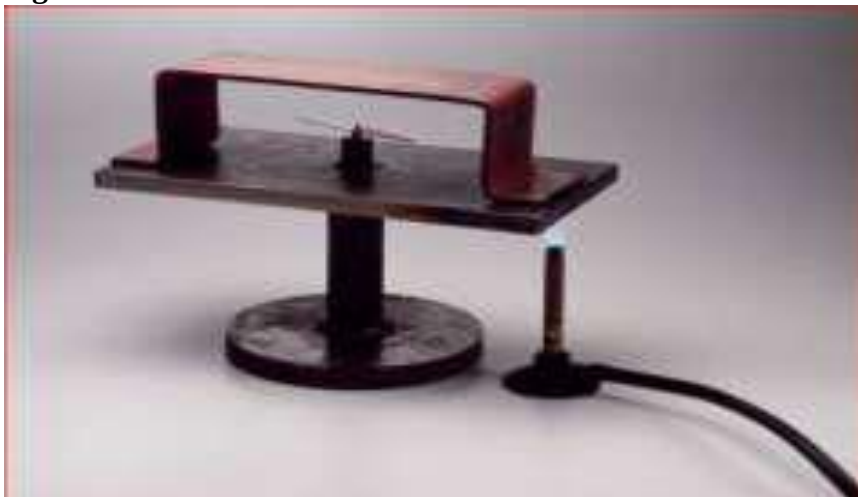
Os primeiros fenômenos, relacionados com a termoeletricidade, foram descobertos no século XIX, por T. J. *Seebeck*. A ligação de dois elementos condutores, ligados aos terminais de um galvanômetro, e sujeito a uma variação de temperatura, provoca o surgimento de uma diferença de potencial, indicada no galvanômetro. Ao conjunto dos elementos ligados e sujeitos a uma variação de temperatura, foi dado o nome de termopar .

Em 1823, *Seebeck*, relatou diversas experiências que tinha realizado e que relacionavam a temperatura com as propriedades elétricas dos condutores. Notou que, ao aquecer uma das junções de dois materiais condutores (A e B na Figura 1), que formam um circuito fechado, em forma de anel, conseguia desviar uma agulha magnética, situada perto do anel (PIEDADE, 1997).

Seebeck julgava inicialmente, que a temperatura originava um campo magnético.

O anel de *Seebeck* com o desvio de uma agulha magnética após aquecimento de uma das junções de dois materiais diferentes (FERNANDES, 2012).

Figura 1 anel de *Seebeck*.



Fonte: FERNANDES (2012).

Desconhecia-se nesta altura, que a corrente elétrica pode gerar um campo magnético. Aproximadamente 13 anos depois, um francês de nome *J. Peltier*, relojoeiro de profissão, verificou o efeito contrário ao de *Seebeck*. *Peltier* utilizou uma montagem idêntica, mas inverteu o procedimento. Em vez de haver, uma variação de temperatura no termopar, foi injetada uma corrente elétrica no local do galvanômetro, tendo verificado que o termopar sofria uma variação de temperatura. *Peltier* teve alguma dificuldade em efetuar uma relação entre a corrente elétrica e o calor absorvido liberado, dado a dissipação por efeito de Joule, que também acompanha a experiência (FERNANDES 2012).

Nem *Peltier*, nem *Seebeck* verificaram um relacionamento entre as experiências que realizaram. Apenas Lord Kelvin, de seu nome W. Thomson, em 1855. Aplicando os conceitos termodinâmicos existentes à data, relacionou as experiências conduzidas por ambos os cientistas através dos coeficientes (de *Seebeck* e *Peltier*). Thomson também referenciou a existência de um terceiro fenômeno, neste caso, aplicado a um condutor homogêneo (FERNANDES 2012).

Este fenômeno que ficou conhecido por efeito de Thomson, consiste na reversibilidade de aquecimento ou arrefecimento quando existe simultaneamente, um fluxo de corrente elétrica e um gradiente de temperatura (FERNANDES 2012).

2.1.3 Efeito de Seebeck

O efeito de *Seebeck* pode ser descrito, através do ponto de vista de um termopar. Um termopar (transdutor – junção bi metálica que não necessita de qualquer fonte de alimentação externa, produzindo ele próprio um sinal analógico de corrente ou tensão, quando estimulado por alguma forma de energia, como, por exemplo, variação de temperatura), não é mais do que uma junção metálica de duas substâncias diferentes, ou ligas metálicas, que geram pequenas diferenças de potencial, da ordem de microvolts, por grau de variação de temperatura ($\mu\text{V/K}$). Este efeito é medido, por comparação da localização da junção num ambiente mais quente (ou mais frio) em relação à temperatura ambiente e é ligado eletricamente a uma carga resistiva (FERNANDES, 2012).

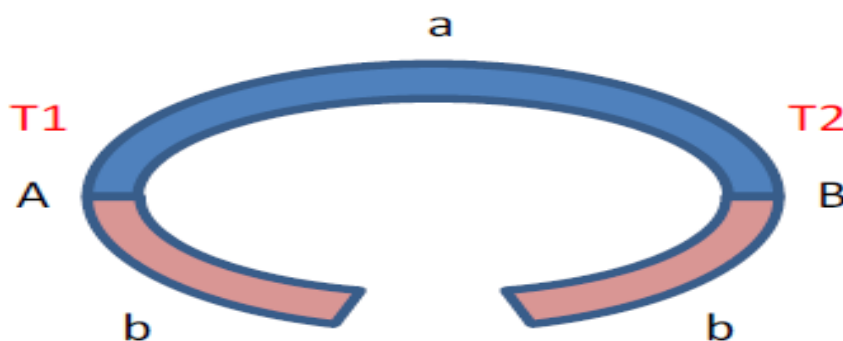
Mostra-se na Figura 2, em que o circuito é formado por dois condutores distintos.

A e B – junções

a – condutor do tipo a

b – condutor do tipo b

Figura 2 Esquema básico de um termopar



Fonte: FERNANDES (2012).

A e B formam a junção dos dois metais ou ligas metálicas, e que se encontram às temperaturas T_1 e T_2 respectivamente. Considerando, a relação entre as temperaturas de um termopar $T_1 > T_2$ surgirá uma tensão U a qual é desenvolvida aos terminais do circuito (circuito aberto) e é calculada em função da variação de temperatura.

Equação 1, tensão elétrica formada no termopar

$$U = \alpha (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Em que U é a tensão [V], T_1 e T_2 as temperaturas das junções do circuito termopar [K] e α o coeficiente de *Seebeck*. Determinando o valor deste em função das outras variáveis.

Este coeficiente, para diferenças de temperatura pequenas é quase linear. Se a força eletromotriz criada, circula no sentido horário, então α é positivo, caso contrário é negativo. O coeficiente de *Seebeck* é medido em volt por Kelvin [V/K] ou em microvolt por Kelvin [$\mu\text{V/K}$] face à grandeza do valor da forma eletromotriz. O coeficiente de *Seebeck* é uma propriedade do material. Este coeficiente pode tomar valores positivos ou negativos (Figura 3). O valor e sinal deste coeficiente são explicados pela assimetria da distribuição de elétrons à volta do nível de Fermi (FERNANDES, 2012).

Figura 3 Coeficientes *Seebeck* para metais e ligas (esquerda) e semicondutores (direita).

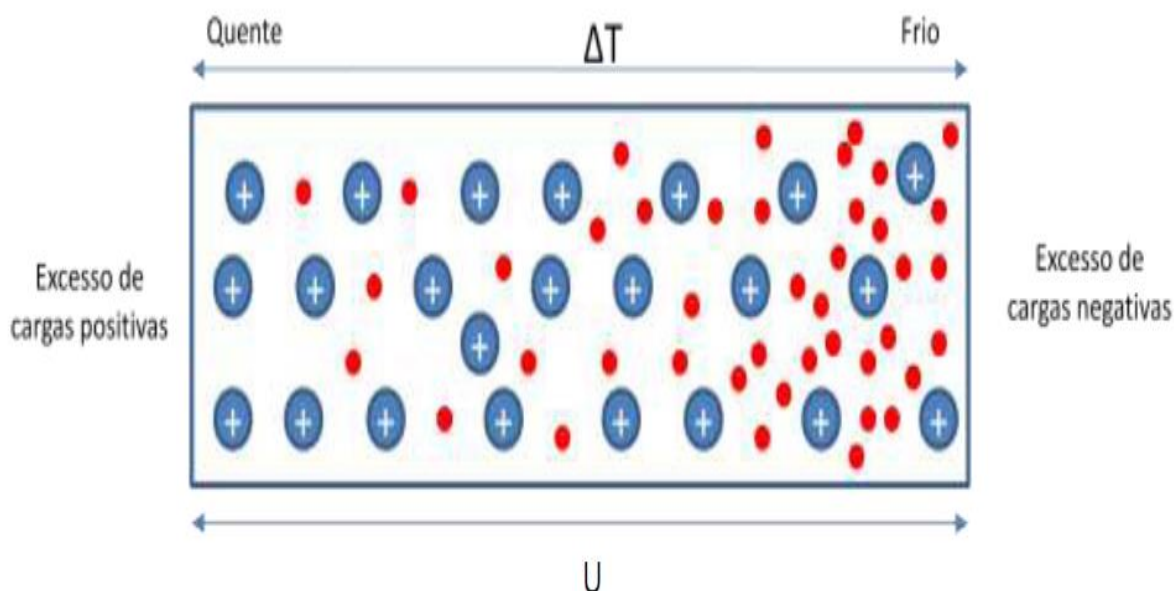
Metais / Ligas e outros materiais	Coeficiente de Seebeck [$\mu\text{V/K}$]	Semicondutores	Coeficiente de Seebeck [$\mu\text{V/K}$]
Antimónio	47	Se	900
Níquel crómio	25	Te	500
Cádmio	7.5	Si	440
Tungsténio	7.5	Ge	300
Ouro	6.5	Bi_2Te_3 (tipo n)	-230
Prata	6.5	$\text{Bi}_{2x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ (tipo p)	300
Cobre	6.5	Sb_2Te_3 (tipo p)	185
Ródio	6.0	PbTe	-180
Tântalo	4.5	$\text{Pb}_{03}\text{Ge}_{39}\text{Se}_{58}$	1670
Chumbo	4.0	$\text{Pb}_{06}\text{Ge}_{36}\text{Se}_{58}$	1410
Alumínio	3.5	$\text{Pb}_{09}\text{Ge}_{33}\text{Se}_{58}$	-1360
Carvão	3.0	$\text{Pb}_{13}\text{Ge}_{29}\text{Se}_{58}$	-1710
Mercúrio	0.6	$\text{Pb}_{15}\text{Ge}_{37}\text{Se}_{58}$	-1990
Platina	0	SnBb_4Te_7	25
Sódio	-2.0	SnBi_4Te_7	120
KOH	-9.0	$\text{SnBi}_3 \text{ Sb}_1\text{Te}_7$	151
Níquel	-15	$\text{SnBi}_{2.5} \text{ Sb}_{1.5}\text{Te}_7$	110
Cu Ni Mn Fe (constantan)	-35	$\text{SnBi}_2 \text{ Sb}_2\text{Te}_7$	90
bismuto	-72	PbBi_4Te_7	-53

Fonte: FERNANDES (2012).

O surgimento da força eletromotriz é fundamentado na deslocação dos elétrons, da camada de valência de uma substância (condutora – metal ou liga metálica), de um local com

temperatura mais elevada, para um local com temperatura mais baixa. Demonstrada na Figura 4.

Figura 4 Deslocação elétrons de uma fonte quente para uma fonte fria



Fonte: FERNANDES, (2012).

O condutor (metal, liga ou semiconductor) é aquecido numa das extremidades. A energia calorífica é transmitida aos elétrons do nível de valência, que ao saltarem das suas orbitas, tornando-se elétrons livres, iniciam uma deslocação para as zonas mais frias do condutor, onde encontram níveis de energia mais baixos. A zona aquecida fica com mais átomos sem elétrons na camada de valência, ou seja, com excesso de cargas positivas, enquanto as zonas mais frias ficam com um excesso de elétrons livres (FERNANDES, 2012).

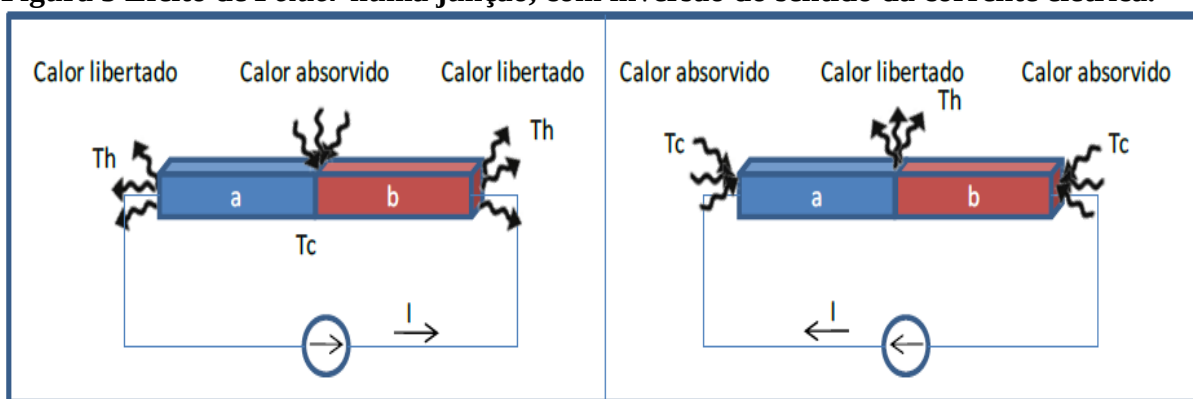
Esta migração de elétrons livres para quando é atingido o equilíbrio, ou seja, a tensão (U) é superior à energia que os elétrons possuem para se movimentar. Esta diferença de potencial continuará a existir até que se atinja um estado de equilíbrio dinâmico entre os elétrons que fluem pelo gradiente de temperaturas entre a parte quente e a parte fria, e a repulsão eletrostática devido ao excesso de cargas negativas na parte fria. Se mantiver a fonte de calor, a migração de elétrons continuará (condução térmica) até que seja atingido o equilíbrio do gradiente térmico (FERNANDES, 2012).

2.1.4 Efeito de *Peltier*

O efeito de *Peltier* pode ser considerado o efeito oposto ao efeito de *Seebeck*. Se num circuito, constituído por dois materiais distintos, passarmos uma corrente elétrica, de intensidade determinada, numa das junções há a libertação de calor, enquanto que na outra junção há a absorção de calor. Este efeito surge devido à existência de uma força eletromotriz na junção, originada pela diferente composição de cada um dos lados da junção. A corrente pode fluir em ambos os sentidos, sendo que, num sentido o dispositivo absorve calor do meio onde se encontra, e quando se inverte o sentido da corrente, a junção onde absorvia calor, passa a irradiar calor para o meio ambiente (ver Figura 5) apresenta um esquema do efeito *Peltier*, (FERNANDES, 2012). Onde:

- T_h – Temperatura quente
- T_c – Temperatura fria
- a – material condutor do tipo a
- b – material condutor do tipo b
- I – Corrente elétrica [A]

Figura 5 Efeito de *Peltier* numa junção, com inversão do sentido da corrente elétrica.



Fonte: FERNANDES, (2012).

Sendo W o calor produzido ou absorvido, I a intensidade de corrente elétrica e π o coeficiente de *Peltier*, o efeito demonstra que a relação entre estas grandezas é dada pela Equação 2, calor libertado por efeito de *Peltier* (FERNANDES, 2012):

$$W = \pi \cdot I \quad (2)$$

Para explicar este fenômeno, o que normalmente se torna difícil, uma vez que a passagem decorrente elétrica num condutor ou semiconductor é sempre acompanhada por libertação de calor por efeito de Joule, volta-se a teoria eletrônica de uma união entre dois condutores ou semicondutores distintos. Os elétrons fluem, através da junção, até atingir um ponto de equilíbrio. Apenas os elétrons com maior nível de energia, conseguem saltar a junção, devido à absorção de energia, criando nesta uma temperatura inferior (FERNANDES, 2012).

O efeito de *Peltier* resulta de uma alteração da entropia das cargas maioritárias, que se movimentam no semiconductor, através da junção. O efeito de *Peltier*, efeito é proporcional ao coeficiente tal como o efeito de *Seebeck*, não está relacionado com o potencial de contato. Para uma corrente constante, o relativo de *Seebeck*, bastante diferente do efeito de Joule que, é independente do sentido da corrente, do sinal, da existência ou não de junção, sendo irreversível (FERNANDES, 2012).

2.1.5 Efeito de Thomson

O último dos efeitos termoelétricos relaciona a quantidade de calor q , gerado num condutor, no qual, se faz passar uma corrente elétrica, existindo simultaneamente uma diferença de temperatura ΔT , ou seja, demonstra que a transferência de calor é proporcional à corrente elétrica, e diferença de temperatura num material termoelétrico. Segundo Thomson, num material condutor homogêneo, percorrido por uma corrente elétrica, para além de uma libertação de calor por efeito de Joule, existe libertação ou absorção de calor proporcional à intensidade de corrente, desde que exista um gradiente de temperatura no material. Partindo do princípio que existe uma diferença de temperatura, (PIEADADE, 1997). então:

Equação 3, quantidade de calor libertado por efeito de Thomson

$$q = \beta I \Delta T \quad (3)$$

Em que β é o coeficiente de Thomson é medido em $V/^\circ C$. Embora, o efeito de Thomson não seja de principal importância para os dispositivos termoelétricos, não deverá ser desprezado

nos cálculos detalhados. O efeito de Thomson também relaciona os efeitos anteriores, de *Seebeck* e de *Peltier*, através da relação (PIEDADE, 1997):

Equação 4, relação entre o coeficiente de *Peltier* e o coeficiente de *Seebeck*

$$\pi = \alpha T \quad (4)$$

Ou seja, o coeficiente de *Peltier* é igual ao coeficiente de *Seebeck* multiplicado pela temperatura absoluta. A única exceção é quando um supercondutor apresenta resistência zero à passagem da corrente elétrica. (PIEDADE, 1997).

O Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 75% da eletricidade do País. Vale lembrar que a matriz energética mundial é composta por 13% de fontes renováveis no caso de Países industrializados, caindo para 6% entre as nações em desenvolvimento. O modelo energético brasileiro apresenta um forte potencial de expansão, o que resulta em uma série de oportunidades de investimento de longo prazo. A estimativa do Ministério de Minas e Energia para o período 2008-2018 indica aportes públicos e privados da ordem de R\$ 352 bilhões para a ampliação do parque energético nacional os recursos públicos virão principalmente do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), iniciativa federal lançada em 2007 para promover a aceleração da expansão econômica no País. (ELETROBRAS, 2010).

Para a área hidrelétrica estão previstos cerca de R\$ 83 bilhões. Hoje, apenas um terço do potencial hidráulico nacional é utilizado. Usinas de grande porte a serem instaladas na região amazônica constituem a nova fronteira hidrelétrica nacional e irão interferir não apenas na dimensão do sistema de geração, mas também no perfil de distribuição de energia em todo o País, abrindo novas possibilidades de desenvolvimento regional e nacional. O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) criado em 2002 pelo Ministério de Minas e Energia, o Programa tem o objetivo de desenvolver fontes alternativas e renováveis de energia para a produção de eletricidade, levando em conta características e potencialidades regionais e locais e investindo na redução de emissões de gases de efeito estufa. (ELETROBRAS, 2010).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1 Tipo de estudo e local de pesquisa

Para verificar se era possível o desenvolvimento do projeto, foi realizada uma pesquisa de caráter aplicada, com enfoque no resultado qualitativo, com prolongamento baseado em normas em ensaio laboratorial, onde foi aplicada uma carga térmica no corpo de prova moldado para os testes necessários, no qual esteve alocado os sensores termopares no seu interior. Com auxílio de um soprador térmico e uma estufa térmica elétrica, a temperatura da superfície do corpo de prova, foi aumentada propositalmente para simular a temperatura, provocada através dos raios solares, em um lugar onde exista uma via pavimentada com material betuminoso estudado.

Os dados de temperatura foram levantados da camada interna do corpo de prova, assim como, a tensão gerada pelos sensores termopares.

3.1.2 Caracterização da amostra corpo de prova

O corpo de prova foi moldado em campo por uma empresa privada, com base na norma DNER-ME 043/95, os materiais betuminosos utilizados foi o CAP 50/70 modificado com borracha de pneu denominado de Tyreflex AB8 WM, o corpo de prova com dimensões de 60 cm de largura por 60 cm de comprimento e 10 cm de espessura, fez a simulação real do material aplicado em uma via com este tipo de revestimento, visando com objetivo de simular a situação mais semelhante possível das reais condições em que um revestimento é aplicado em uma via com pavimento flexível. As leituras dos dados de temperatura e tensão gerada, efetuada no laboratório de uma empresa privada, em Cascavel-PR.

3.1.3 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

Os sensores termopares utilizados para a medição de temperaturas foram de 3 (três) tipos de ligas de metal (Ferro + Cobre), (Cobre + Alumínio) e (Alumínio + Ferro). O princípio de funcionamento do termopar baseia-se no efeito *Seebeck*. Se dois metais dissimilares forem soldados nas duas extremidades, e uma delas for aquecida, uma corrente contínua fluirá pelo circuito termoelétrico. Se o circuito for aberto numa das extremidades, uma tensão elétrica de circuito aberto aparecerá, e estará diretamente relacionada com a diferença de temperatura, entre a extremidade soldada e a extremidade aberta, com a composição dos dois metais, conforme o efeito de *Seebeck*. Os termopares podem ser produzidos em dimensões mínimas, para medições em pontos específicos, ou maiores para medições gerais de temperatura, a Figura 6 apresenta o esquema moldado para o ensaio da esquerda para direita (Ferro + Alumínio), (Cobre + Alumínio) e (Cobre + Ferro).

Figura 6: Termopares: (Ferro + Alumínio), (Cobre + Alumínio) e (Cobre + Ferro)



Para que se possa verificar a possível geração de energia, foi moldado o corpo de prova de pavimento flexível com os termopares, inseridos na amostra de massa asfáltica betuminosa, a quente modificada com asfalto borracha, e realizados os procedimentos seguindo a normas vigentes, a leitura dos resultados da amostra foi realizada através de um

multímetro digital na função 200mV foi elaborada uma planilha para ser registrada os dados obtidos na Tabela 1.

Tabela 1: Resultado das leituras do ensaio de termogeração.

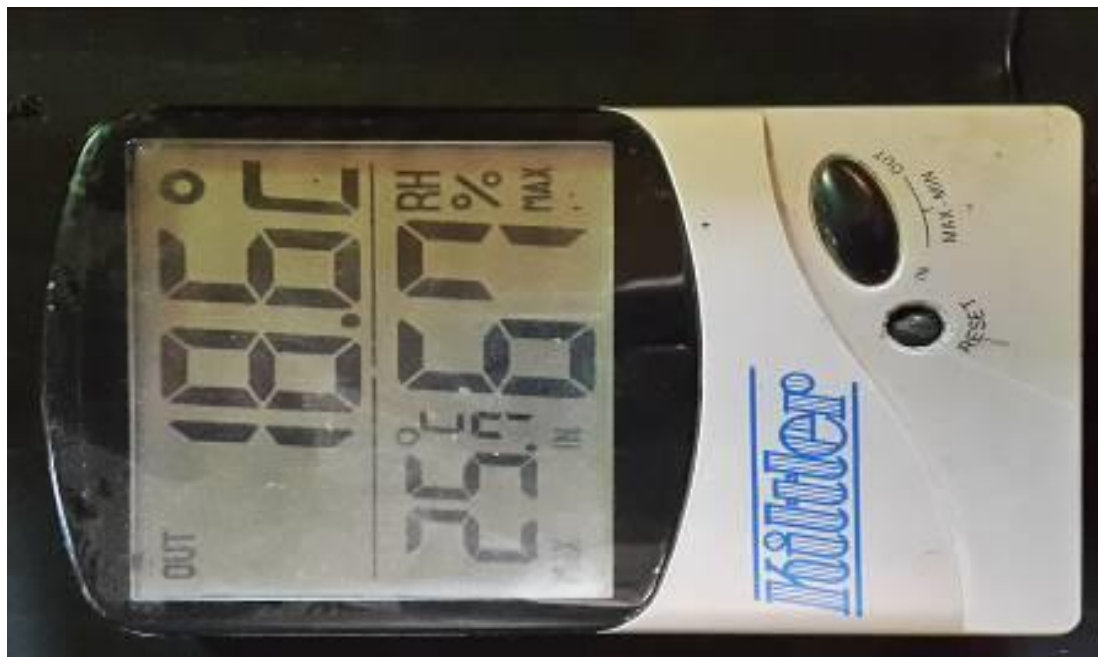
Resultados das leituras							
Data		Amostra		Temp. Amb. (°C)			
Local		CAP		Umid. Relativa ar (HR)			
Hora	Temp. ambiente(°C)	(Ferro + Alumínio)		(Cobre + Alumínio)		(Cobre + Ferro)	
		Temp. (°C)	Tensão (mV)	Temp. (°C)	Tensão (mV)	Temp. (°C)	Tensão (mV)
08:00							
+ 0:15							
+ 0:30							
+ 0:45							
+ 1:00							
+ 1:15							
+ 1:30							
+ 1:45							
+ 2:00							
+ 2:15							
+ 2:30							
+ 2:45							
+ 3:00							
+ 3:15							
+ 3:30							
+ 3:45							
+ 4:00							

Fonte: Autor (2017).

Para se determinar uma relação entre a temperatura ambiente e a temperatura do concreto asfáltico, foi levantado os dados de temperatura ambiente e temperatura superficial do concreto asfáltico.

Para a medição de temperatura ambiente, foi utilizado um termo-higrômetro, marca Kiltler, modelo KT 908, apresentadas na Figura 7 e suas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 2.

Figura 7: Termo-higrômetro, marca Kiltler, modelo KT 908,



Fonte: Autor (2018).

Tabela 2: Especificações técnicas do Termo-higrômetro.

Temperatura em ambiente interno	Faixa de operação	0°C ~ +60°C (+32°F ~ +140°F)
	Precisão	±1,0°C (0°C ~ +40°C) ±2,0°C (+40°C ~ +60°C)
	Resolução	0,1°C / 0,1°F
Temperatura em ambiente externo	Faixa de operação	-50°C ~ +70°C (-58°F ~ +158°F)
	Precisão	±1,0°C (-14°C ~ +40°C) ±2,0°C (-50°C ~ 0°C ou +40°C ~ +70°C)
	Resolução	0,1°C / 0,1°F
Umidade	Faixa de operação	20% ~ 90%
	Precisão	±5,0% (40% ~ 70%, 20°C ~ 30°C) ±10% (20% ~ 40% ou 70% ~ 90%)
	Resolução	1%

Fonte: Kiltler (2018).

A Figura 8 apresenta o termômetro infravermelho utilizado nas medições superficiais do revestimento asfáltico e suas especificações técnicas na tabela 3.

Figura 8: Termômetro infravermelho Solotest modelo Soloterm 1200.



Fonte: Autor (2018).

Tabela 3: Especificações técnicas do termômetro.

Faixa de temperatura	-70°C ~+199°C
Resolução	0,1°C
Precisão	± 2% leitura ou ±2°C
Emissividade	0,1 a 1

Fonte: Solotest (2018).

O corpo de prova dotados com materiais inseridos na amostra simulando termopares em seu interior receberão uma carga térmica oriunda de um soprador térmico, modelo HG2000 do fabricante Black and Decker que simulará a incidência de carga térmica advinda da radiação solar conforme a Figura 9.

Figura 9: Soprador Térmico.



Fonte: Autor (2018).

Com o auxílio de um multímetro da marca Minipa, foram coletadas as informações de tensão nas camadas internas do corpo de prova, conforme ilustra a Figura 10, obtendo-se assim uma relação entre a temperatura superficial do pavimento e as temperaturas da camada interna do revestimento.

Figura 10: multímetro.



Fonte: Autor (2018).

3.2 Caracterização das amostras

Segundo Bernucci *et al.* (2006), o nível de desempenho da mistura asfáltica para pavimentação será muito melhor dependendo do entendimento de como os constituintes (ligante e agregado) reagem juntos sob as condições prevalecentes de um pavimento. Para tanto se faz necessária a caracterização dos mesmos através de ensaios, para conhecimento e análise das propriedades que determinarão o grau de adequação do seu uso.

Com o corpo de prova de CAP 50/70 modificado com borracha de pneu denominado de Tyreflex AB8 WM deu-se início aos ensaios, com medições de temperaturas na superfície do corpo de prova além de medições de tensão gerada.

Os metais em questão analisados foram 3 (três) cobre, ferro e alumínio apresentados na Figura 11 ligados de diferentes formas:

- 1º (FERRO 6,3mm + COBRE 10mm);
- 2º (ALUMINIO 8mm + COBRE 10mm);
- 3º (ALUMINIO 8mm + FERRO 6,3mm).

Figura 11: materiais utilizados.



Fonte: Autor (2018).

3.2.1 Caracterização dos agregados

Os agregados que foram sendo utilizados nessa pesquisa são de origem basáltica, provenientes da pedreira Rio do Salto, localizada em Juvinópolis – Paraná e serão caracterizados segundo:

- DNER-ME 078/94 – Agregado Graúdo – adesividade a ligante betuminoso: Método para determinação da capacidade que um agregado possui em permanecer recobertos pelo ligante após terem sido imersos em água por 72 horas a uma temperatura de 40°C;
- DNER-ME 054/97 – Equivalente de areia: Método para verificação do teor de argila ou matéria orgânica existente no material a ser utilizado na mistura asfáltica.
- DNER-ME 086/94 – Agregados – determinação do índice de forma: Método para determinação da variação dos eixos multidirecionais das partículas que compõem o agregado.
- DNER-ME 081/98 – Absorção Graúdo: Determina o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento por água de seus vazios permeáveis, expresso como porcentagem de sua massa seca.
- DNER-ME 081/98 - Graúdo – densidade real: É dada pela razão entre o peso da unidade de volume de um agregado pela massa de igual volume de água destilada, ambas ao ar e à mesma temperatura.
- DNER-ME 081/98 – Graúdo – densidade aparente: É dada pela razão da unidade de volume de um material pela massa de igual volume de água destilada, ambas ao vácuo e à mesma temperatura.
- DNER-ME 084/95 – Miúdo – densidade real: É dada pela relação da massa de determinado volume de amostra à 25°C para a massa de igual volume de água destilada a mesma temperatura, excluindo os vazios.
- DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica: Determina e classifica o agregado através de peneiramento, conforme a curva granulométrica gerada através dos dados coletados e a dimensão máxima característica do agregado.

3.3 Confeção do corpo de prova

Para o corpo de prova foi utilizado uma caixa de madeira não normatizada com dimensões de 60x60 cm e 10 cm de altura os metais foram distribuídos lateralmente com espaçamento de 10 cm de distância um do outro conforme ilustrado na Figura 12. Inicialmente foi preenchido os primeiros 5cm do fundo da caixa, então montado o sistema de metais. Para facilitar foi feito anteriormente aberturas frontais para que pudesse passar os metais e que os mesmo após a moldagem ficassem expostos.

Figura 12: montagem do corpo de prova.



Fonte: Autor (2018).

Após a montagem das ligas de metais na caixa de amostra a mesma foi completa com o material betuminoso CAP 50/70 modificado com Borracha conforme ilustrado na Figura 13 e por fim compactada com rolo compressor com peso de 4,3 toneladas ilustrado na Figura 14.

Figura 13: montagem do corpo de prova.



Fonte: Autor (2018).

Neste momento foi nivelado para que a amostra ficasse uniforme, ouve um determinado cuidado para que os metais não se movesse no interior da amostra cuidadosamente foi preenchido o restante da amostra manualmente.

Figura 14: Compactação do corpo de prova.



Fonte: Autor (2018).

A amostra foi compactada com o rolo compactador, além disso foi ativado o modo vibratório do equipamento para que se obtivesse melhor resultado na compactação e melhor acomodação dos agregados. Por fim na figura 15 o corpo de prova estava pronto para ser levado ao laboratório de ensaios.

Figura 15: corpo de prova moldado.



Fonte: Autor (2018).

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na amostra foram parcialmente satisfatórios, a concretização deste estudo foi possível verificar que é gerada uma tensão nas ligações que foram inseridas na amostra, concretizando que é possível, aplicando-se os conceitos do efeito *Seebeck*, gerar energia elétrica através da radiação solar que incide sobre as vias pavimentadas com concreto asfáltico.

4.2 Curva de temperatura

A amostra foi retirada do local e levada para o laboratório ficando armazenada em uma estufa térmica por 12 horas com temperatura controlada a 60 °C.

De acordo com as medições realizadas, a temperatura da camada localizada a 5cm de profundidade, variou de 34,3°C até 61,5°C.

Importante observar que existe um retardo na propagação do calor dentro do corpo de material asfáltico e um aspecto que pode claramente ser observado é que, mesmo com a redução da temperatura superficial do corpo de prova, após este atingir os 61,5°C em 120 minutos de fornecimento de calor, as partes mais internas permaneceram elevando sua temperatura enquanto a superfície era resfriada. Este comportamento leva a crer que mesmo a noite, onde não se fornece mais energia solar ao asfalto, este ainda é capaz de manter uma temperatura elevada em relação a temperatura do ar ambiente.

Foi observado que o tempo de retorno do corpo de prova para a temperatura ambiente é bastante longo, chegando a manter a temperatura acima da temperatura ambiente por um período de até quase 4 horas até atingir o equilíbrio térmico com o meio ambiente.

4.3 Dados Obtidos

Com os dados registrados durante os ensaios fica claro que é possível utilizar esta técnica para a geração de energia elétrica, mas, para que esta energia torne-se passível de utilização para a alimentação de cargas elétricas, é necessário que alguns arranjos sejam criados a fim de obter valores de tensão e corrente adequados ao consumo principalmente que a união dos metais fique totalmente imersa na amostra.

Levando-se em consideração que os valores de tensão obtidos em cada termopar são da ordem de 0,02mV e que os inversores de frequência disponíveis atualmente no mercado trabalham com tensões da ordem de 12 a 48V, seriam necessários arranjos que permitissem a obtenção deste nível de tensão por calculo conseguir garantir que em 0,36m² foi gerada uma tensão de 0,02 mV no entanto para conseguirmos afirmar que para atingirmos 12V seria necessário uma área de 216m² no entanto isso na teoria, pode ocorrer que na pratica não seja isso que aconteça pois podemos ter percas de carga ao longo desta área.

A leitura da Figura 16 é medida da junção entre os metais (Cobre + Alumínio) podemos observar que o multímetro está programado para milivolts.

Figura 16: Leituras do corpo de prova.



Fonte: Autor (2016).

A leitura medida da junção entre os metais (Cobre + Alumínio) foi a melhor condição entre os 3 arranjos na Figura 17 pode-se observar que a tensão é muito baixa não sendo possível registrar no multímetro os metais em questão são (Cobre + Ferro).

Figura 17: Leituras do corpo de prova.



Fonte: Autor (2018).

Na Tabela 4 os dados obtidos através da amostra analisada com os diferentes tipos de metais e as diferentes temperaturas analisadas.

Tabela 4: Resultado das leituras do ensaio de termogeração.

Resultados das leituras							
Data	21/05/18	Amostra	001	Temp. média Ambiente (°C)		18,6	
Local	Cascavel-PR	CAP	50/70 c. adição de Borracha.	Umid. Relativa ar (HR) %		67	
Hora	Temp. ambiente (°C)	(Ferro + Alumínio)		(Cobre + Alumínio)		(Cobre + Ferro)	
		Temp. (°C)	Tensão (mV)	Temp. (°C)	Tensão (mV)	Temp. (°C)	Tensão (mV)
08:00	9	34,3	0,00	34,3	0,00	34,3	0,00
+ 0:15	9,2	35,3	0,00	35,3	0,00	35,3	0,00
+ 0:30	10,3	35,6	0,00	35,6	0,01	35,6	0,00
+ 0:45	11,1	38,4	0,00	38,4	0,01	38,4	0,00
+ 1:00	12	39,7	0,00	39,7	0,01	39,7	0,00
+ 1:15	13,7	41,9	0,00	41,9	0,01	41,9	0,00
+ 1:30	13,8	43,5	0,00	43,5	0,00	43,5	0,00
+ 1:45	14,3	47,2	0,00	47,2	0,01	47,2	0,00
+ 2:00	15,1	50	0,00	50	0,02	50	0,01
+ 2:15	16,5	50,3	0,00	50,3	0,02	50,3	0,00
+ 2:30	17,9	50,6	0,00	50,6	0,02	50,6	0,00
+ 2:45	18,5	50,7	0,00	50,7	0,02	50,7	0,00
+ 3:00	18,7	50,8	0,01	50,8	0,02	50,8	0,01
+ 3:15	19,4	51,3	0,00	51,3	0,03	51,3	0,01
+ 3:30	19,6	51,6	0,01	51,6	0,02	51,6	0,01
+ 3:45	19,6	52,1	0,01	52,1	0,02	52,1	0,01
+ 4:00	19,7	61,5	0,01	61,5	0,02	61,5	0,01

Fonte: Autor (2018).

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da concretização deste estudo foi possível verificar que é gerada uma tensão média de 0,02 mV nas ligações que foram inseridas na amostra, concretizando que é possível, aplicando-se os conceitos do efeito *Seebeck*, gerar energia elétrica através da radiação solar que incide sobre as vias pavimentadas com concreto asfáltico com os termopares a uma espessura de 5 cm do revestimento. Assim é possível obter a geração de energia e determinar que além do tamanho de 70cm cada e dimensões de 6,3 mm, 8 mm e 10 mm das células geradoras necessárias para cada profundidade de instalação dos termogeradores visando um valor fixo de tensão a ser gerada, determinando a potência gerada por estas células e a potência gerada por metro quadrado de via.

Para o fim deste estudo foi analisado uma grande dificuldade em executar o projeto pela pouca informação disponível relacionado a este assunto e por ser um sistema inovador, porém além de desafiador permitiu avaliar que com a aplicação do efeito *Seebeck*, podemos desenvolver uma nova fonte de energia sustentável e assim podemos fazer a utilização em vias pavimentadas com concreto asfáltico como fontes geradoras de energia elétrica, com ideia inicial de poder acender uma determinada iluminação ao longo de uma rodovia, significando assim um grande passo que através de outros estudos possamos talvez um dia alimentar uma praça de pedágio ou um serviço de atendimento ao usuário de uma rodovia pedagiada, pensando para um perímetro urbano poderia ser utilizada para fazer a iluminação pública de uma cidade. A malha pavimentada é muito extensa com outras possibilidades ainda a serem exploradas. Fazendo o aproveitamento da energia térmica incidente sobre estas vias pela exposição solar e também sobre o próprio atrito dos pneus.

Contudo, considera-se alcançável o objetivo geral do trabalho, demonstrando que é possível a geração de energia elétrica através da aplicação da técnica aqui apresentada, tornando-se este um trabalho de grande valor, podendo contribuir para a sociedade e uma forma de engrandecer a Engenharia Civil.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugiro abaixo alguns temas que ainda podem ser aprofundados para uma sequência deste trabalho.

Dispostos nos itens a seguir:

- Executar o mesmo procedimento, porém com o conector envolvido na amostra;
- Executar o mesmo procedimento, porém com diferentes tipos de metais e diâmetros;
- Executar um estudo com a tecnologia piezoelétrica;

6 REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L.B; [et al.] **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA – FORMAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS**. Rio de Janeiro, PETROBRAS: ABEDA 2006. Acesso em 05/08/2017.

CBB ASFALTOS. **PRODUTOS**. Disponível em: <<http://cbbasfaltos.com.br/produtos/>> Acesso em 20/05/2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPE. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO IPR-719**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf> Acesso em 01/08/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 095/2006 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-material-em/dnit095_2006_em.pdf> Acesso em 05/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO IPR-719**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em <https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf> Acesso em 01/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 078/1994 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me078-95.pdf> > Acesso em 05/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 054/1997 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me054-97.pdf> > Acesso em 12/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 086/1994 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me086-94.pdf> > Acesso em 12/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 081/1998 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me081-98.pdf> > Acesso em 19/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 084/1995 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me084-95.pdf> > Acesso em 19/05/2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO DNIT 083/1998 EM**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/meetodo-de-ensaio-me/dner-me083-98.pdf> > Acesso em 19/05/2017.

ELEMENTOS DA ELÉTRICA. **EFEITO *SEEBECK***. Universidade São Francisco, 2015. Disponível em <http://termopares.com.br/teoria_sensores_temperatura_termopares_efeito_Seebeck/> Acesso em 20/08/2017.

FERNANDES; [et al.], **CONVERSÃO DE ENERGIA COM CELULAS *PELTIER***. LISBOA, 2012. Disponível em Fernandes_2012 (http://run.unl.pt/bitstream/1036280841/Fernandes_2012.pdf)> Acesso em 05/08/2017.

MONTEIRO, M.S. **AValiação METROLÓGICA DA ESTABILIDADE TERMOELÉTRICA DE UM TERMOPAR AuPt**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2002. Disponível em < https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/3668/3668_5.PDF > Acesso em 19/08/2017.

MORAES, M. B. S.; TEIXEIRA, R. M. R. **CIRCUITOS ELÉTRICOS: NOVAS E VELHAS TECNOLOGIAS COMO FACILITADORES DE UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA NO NÍVEL MÉDIO**. Textos de Apoio ao Professor de Física. Porto Alegre: UFRGS, 2006. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/tapf/v17n1_Moraes_Teixeira.pdf> Acesso em 19/08/2017.

MOTTA, L.M.G. **NOÇÕES DE MECÂNICA DOS PAVIMENTOS**. Laboratório de Geotecnia - Programa de Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2003 Disponível em < www.ufjf.br/pavimentacao/files/2012/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf > Acesso em 19/08/2017.

PAVIMENTOS FLEXÍVEIS – CONCRETO ASFÁLTICO – ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇOS NORMA DNIT 031/2006 ES. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em < http://www.dtt.ufpr.br/Pavimentacao/Notas/DNIT031_2006_ES.pdf > Acesso em 07/08/2017.

PIEDADE, **POTENCAIS APLICAÇÕES DE MODULOS TERMOELETRICOS**, Lisboa Portugal. 1997. Disponível em < <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2014/MIQ14043.pdf> > Acesso em 19/08/2017.